

HUBUNGAN UMUR BETON DAN KEKUATAN TEKAN TERHADAP WAKTU AMAN PEMBONGKARAN BEKISTING

N P Nugroho¹⁾, D Farros²⁾, Y D Setiyarto³⁾

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Komputer Indonesia

Jl. Dipatiukur No. 112-116, Bandung, 40132, Indonesia

E-mail: nauval.13022015@mahasiswa.unikom.ac.id¹⁾, diaz.13022021@mahasiswa.unikom.ac.id²⁾, y.djoko.setiyarto@unikom.ac.id³⁾

ABSTRAK

Pembongkaran bekisting merupakan tahap kritis dalam pekerjaan beton bertulang karena berhubungan langsung dengan mutu, keamanan, dan efisiensi konstruksi. Praktik di lapangan sering kali hanya mengacu pada umur beton dalam hitungan hari, tanpa verifikasi kuat tekan aktual, sehingga berpotensi menimbulkan retak, lendutan berlebih, bahkan kerusakan permanen. Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan antara perkembangan kuat tekan beton dengan kemampuan elemen struktur utama—kolom, balok, dan pelat—dalam memikul beban konstruksi, sebagai dasar penentuan waktu aman pembongkaran bekisting. Metode yang digunakan adalah kajian literatur dan analisis konseptual berdasarkan SNI 2847:2019, ACI 347.2-17, serta data hasil uji kuat tekan pada umur 1–28 hari. Perhitungan kapasitas aksial dan lentur elemen dibandingkan dengan beban konstruksi sesuai SNI 1727:2020, serta dilakukan evaluasi lendutan layanan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kolom dapat dibongkar pada umur 1 hari karena kapasitas aksialnya jauh melebihi beban, sedangkan pelat dan balok bentang panjang aman dibongkar setelah 14 hari ketika beton mencapai $\geq 70\%$ $f'c$. Temuan ini menegaskan bahwa umur beton tidak dapat dijadikan satu-satunya acuan; verifikasi kekuatan aktual sangat penting agar pembongkaran bekisting dapat dilakukan secara aman dan efisien.

Kata kunci: beton bertulang, bekisting, umur beton, kuat tekan beton, pembongkaran formwork

1. Pendahuluan

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia karena sifatnya yang kuat, tahan lama, serta ekonomis. Pada setiap pekerjaan struktur beton bertulang, bekisting memegang peran penting sebagai cetakan sementara untuk menahan beton segar hingga mencapai kekuatan yang memadai. Tahap pembongkaran bekisting menjadi krusial, sebab keputusan yang terlalu dini dapat mengakibatkan retak, lendutan berlebih, hingga keruntuhan lokal, sedangkan pembongkaran yang terlalu lambat dapat memperlambat progres konstruksi dan meningkatkan biaya proyek. Oleh karena itu, penentuan waktu yang tepat untuk pembongkaran bekisting perlu mendapatkan perhatian serius.

Sejumlah penelitian terdahulu telah menyoroti hubungan umur beton dengan pencapaian kuat tekan relatif. Penelitian tentang evaluasi beton dari berbagai ready mix [1] menegaskan bahwa beton pada umur 3, 7, dan 14 hari mengalami peningkatan bertahap sesuai dengan kurva hidrasi semen. Selain itu, penelitian [2] membuktikan bahwa penggunaan kombinasi bahan tambah kimia mampu meningkatkan kuat tekan

awal beton sehingga waktu pembongkaran bekisting dapat dipercepat tanpa mengurangi keamanan struktur. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa pencapaian kuat tekan 70% $f'c$ dapat dicapai lebih cepat melalui rekayasa komposisi campuran beton.

Kajian internasional terbaru juga telah mengembangkan metode *maturity* dan pengujian non-destruktif (UPV) untuk memperkirakan kuat tekan in-situ sebagai dasar keputusan pembongkaran bekisting [3] [4], [5]. Meski demikian, praktik di lapangan di Indonesia masih cenderung berpatokan pada umur beton dalam hitungan hari tanpa memperhatikan hasil uji kuat tekan aktual.

Hasil penelitian [6] menegaskan bahwa perkembangan kekuatan beton pada umur dini tidak hanya bergantung pada umur kronologis, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan variasi material penyusunnya. Pendekatan ini memberikan kontribusi penting dalam memahami bagaimana kondisi curing dan perbedaan binder berimplikasi terhadap kecepatan pencapaian kuat tekan awal.

Artikel ini melengkapi temuan tersebut dengan memberikan sintesis yang lebih luas

mengenai hubungan antara umur beton dan persentase kuat tekan relatif ($\% f'c$) sebagai dasar rekomendasi waktu pembongkaran bekisting. Dengan demikian, jika penelitian terdahulu menekankan pada aspek prediksi kekuatan melalui pendekatan maturitas, artikel ini berfokus pada penerjemahan hasil tersebut ke dalam panduan praktis yang dapat diaplikasikan di lapangan untuk menentukan waktu pembongkaran secara aman dan efisien.

Penelitian [7] menekankan bahwa pengembangan campuran beton kuat-awal dapat mempercepat waktu pembongkaran bekisting sekaligus meningkatkan produktivitas konstruksi. Studi tersebut menunjukkan bahwa optimasi desain campuran dapat membantu beton mencapai kuat tekan minimum lebih cepat, sehingga siklus pekerjaan struktural dapat dipersingkat. Artikel ini melengkapi temuan tersebut dengan memberikan kerangka konseptual tentang hubungan umur beton dan persentase kuat tekan relatif sebagai dasar rekomendasi waktu pembongkaran, sehingga dapat menjadi acuan praktis di lapangan, terlepas dari inovasi material yang digunakan.

Penelitian [8] menunjukkan bahwa integrasi kecerdasan buatan dengan pemantauan hidrasi dapat memperkirakan kuat tekan beton pada umur dini secara akurat dan real-time. Studi tersebut menegaskan pentingnya pendekatan berbasis data untuk mendukung keputusan teknis, termasuk penentuan waktu pembongkaran bekisting. Artikel ini melengkapi temuan tersebut dengan menyajikan sintesis hubungan umur beton dan persentase kuat tekan relatif sebagai acuan praktis yang dapat diterapkan di lapangan, sekaligus membuka peluang integrasi teknologi prediktif dalam prosedur standar pembongkaran.

Penelitian [9] menunjukkan bahwa metode maturitas dapat digunakan untuk memperkirakan perkembangan kuat tekan beton dengan mempertimbangkan pengaruh bahan tambah percepat ikat. Studi tersebut menegaskan bahwa variasi kadar accelerator mampu mempercepat pencapaian kuat tekan awal, sehingga berimplikasi pada kemungkinan pembongkaran bekisting lebih dini. Artikel ini melengkapi temuan tersebut dengan menekankan hubungan umur beton dan persentase kuat tekan relatif sebagai dasar rekomendasi waktu pembongkaran, sehingga memberikan kerangka praktis yang dapat diterapkan di lapangan.

Penelitian [10] menunjukkan bahwa kombinasi metode maturitas dan pengujian non-destruktif dapat menjadi dasar yang andal untuk

menentukan waktu pembongkaran bekisting pada kondisi curing bersuhu tinggi. Hasil tersebut menegaskan bahwa faktor lingkungan, khususnya temperatur, berpengaruh besar terhadap percepatan pencapaian kuat tekan beton. Artikel ini melengkapi temuan tersebut dengan menyajikan sintesis hubungan umur beton dan persentase kuat tekan relatif sebagai acuan praktis dalam menentukan waktu pembongkaran, sehingga memberikan panduan yang lebih luas yang dapat diaplikasikan pada berbagai kondisi lapangan, baik normal maupun dengan pengaruh suhu tinggi.

Penelitian [11] menekankan bahwa metode maturitas merupakan pendekatan yang efektif untuk memperkirakan kuat tekan beton secara in-situ dengan memanfaatkan hubungan antara suhu, waktu, dan perkembangan hidrasi. Kajian tersebut memberikan gambaran menyeluruh tentang bagaimana maturitas dapat digunakan untuk mendukung keputusan teknis penting, termasuk penentuan waktu pembongkaran bekisting. Artikel ini melengkapi kajian tersebut dengan menyajikan analisis hubungan umur beton dan persentase kuat tekan relatif sebagai acuan praktis bagi pelaksanaan pembongkaran di lapangan, sehingga memperkuat argumen bahwa keputusan pelepasan bekisting sebaiknya tidak hanya didasarkan pada umur beton, tetapi juga pada verifikasi kekuatan aktual.

Penelitian [12] menyoroti perkembangan pendekatan berbasis kecerdasan buatan untuk memprediksi dan mengoptimasi sifat-sifat beton secara lebih efisien dan berkelanjutan. Studi tersebut menunjukkan bahwa metode komputasi cerdas mampu meningkatkan akurasi prediksi kuat tekan serta memperluas ruang lingkup inovasi dalam desain material beton. Artikel ini terkait erat dengan kajian tersebut, karena sama-sama menekankan pentingnya prediksi kekuatan beton pada umur dini sebagai dasar pengambilan keputusan, khususnya dalam konteks pembongkaran bekisting. Jika penelitian terdahulu menekankan pada potensi integrasi algoritma AI dan optimasi, artikel ini memberikan kerangka praktis dengan menyoroti hubungan umur beton dan persentase kuat tekan relatif sebagai panduan lapangan, sekaligus membuka peluang sinergi dengan teknologi prediktif di masa depan.

Penelitian [13] berfokus pada pengembangan model prediksi kuat tekan beton pada umur tujuh hari dengan memanfaatkan data lapangan. Hasil studi tersebut menegaskan bahwa kuat tekan pada umur 7 hari memiliki korelasi yang kuat dengan pencapaian kekuatan akhir, sehingga dapat

dijadikan indikator utama untuk mengevaluasi mutu beton secara dini. Artikel ini memiliki keterkaitan langsung dengan penelitian tersebut, karena sama-sama menyoroti pentingnya kuat tekan dini dalam pengambilan keputusan teknis. Bedanya, jika penelitian sebelumnya menitikberatkan pada akurasi prediksi kuat tekan 7 hari, artikel ini menggunakannya sebagai dasar untuk menyusun rekomendasi praktis mengenai waktu aman pembongkaran bekisting berdasarkan hubungan umur beton dan persentase kuat tekan relatif.

Penelitian [14] mengembangkan pendekatan non-destruktif untuk menentukan waktu aman pembongkaran bekisting dengan memanfaatkan pantulan gelombang ultrasonik. Studi tersebut membuktikan bahwa metode akustik dapat memberikan estimasi yang cepat dan cukup akurat mengenai pencapaian kuat tekan beton pada umur dini, sehingga keputusan pembongkaran tidak lagi hanya bergantung pada uji laboratorium atau patokan umur harian. Artikel ini berkaitan erat dengan kajian tersebut karena sama-sama menekankan pentingnya verifikasi kekuatan aktual sebelum pembongkaran. Namun, artikel ini menawarkan perspektif berbeda dengan menyajikan sintesis hubungan umur beton dan persentase kuat tekan relatif sebagai acuan praktis yang dapat dipakai secara umum di lapangan, sekaligus membuka ruang integrasi dengan teknologi non-destruktif seperti ultrasound untuk pengambilan keputusan yang lebih presisi.

Penelitian [15] mengungkap bahwa pembongkaran perancah atau bekisting yang terlalu dini dapat memicu timbulnya retak dan deformasi akibat beton belum mencapai kekuatan yang memadai. Studi kasus tersebut menegaskan adanya risiko teknis yang signifikan ketika keputusan pembongkaran hanya didasarkan pada umur beton tanpa mempertimbangkan pencapaian kuat tekan aktual. Artikel ini memiliki keterkaitan langsung dengan kajian tersebut, karena sama-sama menyoroti pentingnya waktu pembongkaran bekisting dalam menjamin mutu dan keamanan struktur. Bedanya, jika penelitian terdahulu fokus pada dampak negatif cepat bongkar di satu kasus proyek, artikel ini menawarkan kerangka konseptual yang lebih luas dengan menganalisis hubungan umur beton dan persentase kuat tekan relatif sebagai dasar rekomendasi waktu pembongkaran yang aman.

Penelitian [16] tentang penggunaan bahan tambahan semen seperti *fly ash* dan *silica fume* memengaruhi perkembangan kuat tekan beton pada

umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Hasil studi tersebut menunjukkan bahwa beton dengan SCM tertentu dapat mengalami keterlambatan dalam mencapai 70% $f'c$ dibanding beton normal, sementara pada campuran lain justru terjadi percepatan pencapaian kuat tekan dini. Temuan ini mempertegas bahwa faktor material sangat berpengaruh terhadap waktu pencapaian kekuatan struktural minimum yang menjadi dasar pembongkaran bekisting. Artikel ini melengkapi kajian tersebut dengan memberikan kerangka konseptual yang lebih luas, yaitu hubungan umur beton dan persentase kuat tekan relatif sebagai acuan praktis untuk menentukan waktu aman pembongkaran bekisting di lapangan, terlepas dari variasi campuran yang digunakan.

Kebaruan ilmiah artikel ini terletak pada upaya menyajikan sintesis komprehensif antara standar normatif [17], hasil eksperimen lokal maupun internasional, serta risiko praktis yang timbul akibat kesalahan pembongkaran bekisting. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih tepat mengenai hubungan umur beton, persentase kuat tekan relatif, dan rekomendasi waktu aman pembongkaran.

Permasalahan penelitian yang diangkat adalah apakah umur beton dapat dijadikan satu-satunya acuan pembongkaran bekisting, ataukah diperlukan verifikasi pencapaian kuat tekan sebagai dasar keputusan. Hipotesis yang diajukan adalah bahwa pembongkaran bekisting baru dapat dilakukan dengan aman apabila beton telah mencapai minimal 70% dari kuat tekan rencana, terlepas dari umur harian yang dicapai.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara perkembangan kuat tekan beton terhadap kemampuan elemen struktur utama seperti balok, kolom, dan pelat, dalam memikul beban pada tahap konstruksi. Fokus kajian diarahkan pada perbandingan antara beban konstruksi yang bekerja dengan kapasitas momen dan kapasitas aksial elemen struktur pada berbagai umur beton, sehingga dapat ditentukan waktu aman pembongkaran bekisting. Dengan pendekatan ini, diharapkan diperoleh dasar teknis yang lebih akurat dalam merencanakan tahapan pembongkaran bekisting tanpa mengurangi faktor keselamatan maupun efektivitas jadwal pekerjaan. Penelitian ini menghadirkan pendekatan yang mengintegrasikan analisis beban konstruksi sesuai SNI 1727:2020 [18] dengan kapasitas elemen struktur (balok, kolom, dan pelat) pada berbagai umur beton. Selama ini kajian pembongkaran bekisting umumnya hanya berfokus pada persentase

perkembangan kuat tekan beton atau pada rekomendasi umur standar, tanpa memperhitungkan interaksi langsung antara beban konstruksi dan kapasitas aktual elemen. Dengan memasukkan faktor tersebut, penelitian ini menawarkan perspektif baru dalam penentuan waktu pembongkaran bekisting yang lebih kontekstual, terukur, dan aplikatif di lapangan.

2. Metodologi

Penelitian ini termasuk dalam kategori studi literatur analitis, yang bertujuan menyintesis hasil penelitian sebelumnya, standar teknis, dan data lapangan terkait hubungan umur beton dengan persentase kuat tekan relatif serta implikasinya terhadap waktu pembongkaran bekisting. Kerangka berpikir penelitian berangkat dari permasalahan saat melaksanakan Kerja Praktik di Proyek B, yaitu dijumpainya praktik pembongkaran bekisting yang mengacu pada umur beton dalam hitungan hari. Apabila waktu pembongkaran bekisting tersebut tidak sesuai dengan pencapaian kuat tekan aktual, maka dikhawatirkan dapat berpotensi menimbulkan kerusakan dini pada struktur, sebagaimana dilaporkan dalam penelitian kasus cepat bongkar perancah [15].

2.1 Waktu Bongkar Bekisting

Berdasarkan pengamatan di lapangan saat melaksanakan kerja praktek, diketahui bahwa waktu bongkar elemen struktural beton bertulang dapat dilihat pada Tabel 1. Pada bagian tertentu, walaupun bekisting sudah bisa dibongkar, penopangan (*propping*) tetap diperlukan setidaknya selama tujuh hari setelah pengecoran balok di lantai atas. Langkah ini penting agar struktur tetap cukup kuat dalam menahan beban yang ada di atasnya.

Table 1. Waktu Bongkar Bekisting

Elemen	Waktu (Hari)	Keterangan
Kolom	1	Bekisting dibongkar seluruhnya
Balok	3-7	Sisi balok saja, bagian bawah tetap ditopang (<i>propping</i>)
	14	Bekisting dibongkar seluruhnya
Pelat	7-14	Bekisting dibongkar seluruhnya

2.2 Penentuan Kapasitas Kekuatan

Untuk menjawab permasalahan tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan konseptual

yang didasarkan pada standar SNI 2847:2019 yang menyatakan bahwa pembongkaran bekisting hanya boleh dilakukan apabila beton telah mencapai kekuatan yang cukup menahan beban sendiri maupun beban konstruksi.

Berdasarkan SNI 2847:2019 diketahui persamaan kapasitas aksial nominal kolom ditentukan berdasarkan kombinasi kontribusi beton dan tulangan longitudinal, dengan persamaan:

$$P_n = 0,85f'_c(A_g + A_{st}) + f_y A_{st} \quad (\text{pers.1})$$

Dengan keterangan:

- f'_c = kuat tekan beton (Mpa)
- f_y = tegangan leleh tulangan (Mpa)
- A_g = luas bruto penampang kolom (mm^2)
- A_{st} = luas tulangan longitudinal

Balok dan pelat umumnya tidak direncanakan untuk menahan beban aksial, melainkan momen lentur dan gaya geser akibat beban gravitasi maupun lateral. Kapasitas momen nominal balok dan pelat dihitung dengan rumus:

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f_y (d - d') \quad (\text{pers.2})$$

Dengan keterangan:

- A_s = luas tulangan tarik (mm^2)
- A'_s = luas tulangan tarik (mm^2)
- d = tinggi efektif penampang (mm)
- $a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b}$
- f_y = tegangan leleh baja tulangan
- b = lebar elemen
- d' = jarak dari serat tekan terluar beton ke sumbu (centroid) tulangan tekan.

Besarnya P_n dan M_n tersebut perlu dikalikan terlebih dahulu terhadap faktor reduksi tekan dan lentur sebesar $\phi_c = 0.75$ dan $\phi_f = 0.9$, sebelum dapat dinyatakan harus melebihi beban ultimit yang bekerja.

2.3 Penentuan Lendutan

Lendutan yang terjadi pada balok dan pelat diperiksa dengan :

$$\Delta = \frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (\text{pers.3})$$

Dengan keterangan:

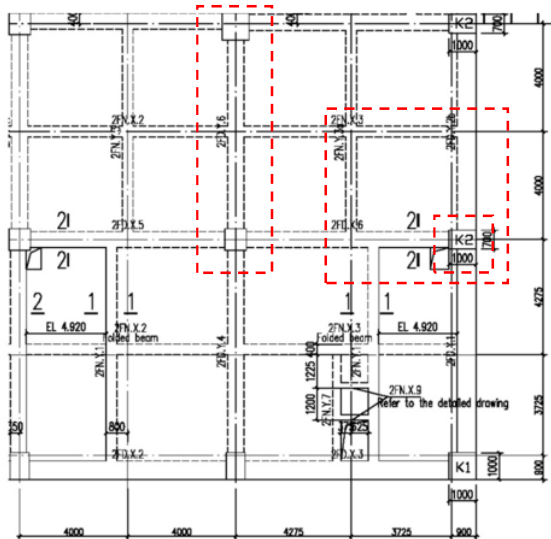
- w = beban kombinasi = $D + L_c$ (mm^2)
- L = panjang bentang yang ditinjau
- E = modulus elastisitas beton = $4700 \sqrt{f'_c}$
- I = momen inersia elemen

Lendutan yang terjadi tersebut harus kurang dari lendutan yang diijinkan yaitu $L/240$, dimana L merupakan panjang bentang.

2.4 Penentuan Beban pada Kolom Balok Pelat

Penentuan beban yang berkerja pada elemen struktural adalah berdasarkan pembebanan yang bekerja pada denah pelat lantai seperti pada Gambar 1. Pada kotak bergaris putus-putus warna merah tersebut merupakan tributary area pembebanan yang ditinjau untuk kolom berukuran 70 cm x 100 cm, pelat lantai setebal 13 cm berukuran 4 m x 4m, dan balok sepanjang 8 m berukuran 60 cm x 70 cm.

Mengacu pada Gambar 1, beban dari pelat disalurkan terlebih dahulu ke struktur balok dengan karakteristik utama berupa momen lentur dan gaya geser. Balok kemudian tidak hanya menahan beban dari pelat, tetapi juga menanggung momen dan geser sepanjang bentangnya sendiri. Seluruh beban yang terkumpul akhirnya diteruskan ke kolom yang berfungsi menahan gaya aksial tekan sebelum dialirkan ke pondasi.



Gambar 1. Gambar Rencana Kolom, Balok, dan Pelat (Sumber: Dokumentasi Proyek BOP)

Penentuan beban yang bekerja tersebut bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai P_u dan M_u yang diterima pada elemen struktur utama, dengan kombinasi pembebanan $1,2 D + 1,6 L_c$. Beban D merupakan dari berat sendiri, maupun

elemen struktur yang ditopang berdasarkan dimensi dan berat jenis beton sebesar 24 kN/m^3 . Beban L_c merupakan beban kontruksi yang berdasarkan SNI 1727:2020 [18] diambil sebesar $2,5 \text{ kN/m}^2$. Dalam hal pemeriksaan lendutan, kombinasi pembebanan yang digunakan adalah $D + L_c$.

2.5 Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur

Mutu beton yang direncanakan pada lokasi proyek adalah $f'_c = 30 \text{ MPa}$. Hasil uji tekan untuk mengetahui perkembangan mutu beton tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Sesuai Umur

Umur (Hari)	$f_c(t)$ (MPa)	f'_c (MPa)	(%)	EC2 (%)
1	7	30	23,33	34.2%
7	11,9	30	39,60	77.9%
14	21,0	30	70,00	90.2%
21	26,6	30	88,67	96.2%
28	30,5	30	101,67	100%

(Sumber: Hasil Uji Kuat Tekan Proyek BOP)

Tabel tersebut menggambarkan perkembangan kuat tekan beton pada umur 1, 7, 14, 21 dan 28 hari yang dinyatakan dalam kolom $f_c(t)$. Secara umum, peningkatan kuat tekan beton pada proyek terlihat lebih lambat dibandingkan dengan acuan dari Eurocode2 (EC2). Namun, dengan mempertimbangkan kondisi cuaca di lokasi proyek yang relatif panas, dimungkinkan bahwa nilai kuat tekan aktual di lapangan dapat lebih tinggi daripada hasil uji tekan yang diperoleh.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan analisis kapasitas dan pembebanan ternyata diketahui bahwa pembongkaran bekisting yang dilakukan di lingkungan Proyek BOP masih dalam kondisi aman karena beban yang bekerja masih berada dibawah kapasitas kekuatannya, meskipun beton yang digunakan belum mencapai kekuatan 100%.

3.1 Analisis Waktu Aman Pembongkaran Bekisting Kolom

Pada elemen struktur kolom K2 (Gambar 3) dengan dimensi 70 cm x 100 cm dan luas penulangan BJTS 420 sebesar 6079 mm^2 , memiliki nilai kapasitas aksial nominal yang dihitung sesuai Persamaan 1, menghasilkan sebesar $\phi.P_n = 5393,5 \text{ kN}$. Angka tersebut sudah mengandung kuat tekan

beton saat berusia 1 hari. Bila dibandingkan dengan beban yang bekerja pada kolom tersebut yaitu $P_u = 229,76$ kN, maka sangat terlihat jelas bahwa bekisting kolom yang dibongkar pada usia beton 1 hari masih sangat aman dalam menerima beban yang bekerja.



Gambar 3. Bekisting Kolom
(Sumber: Dokumentasi Proyek BOP)

Secara lengkap, perkembangan kekuatan beton akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan usia beton, seperti yang disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan Umur Beton dengan Peningkatan Kapasitas Aksial Kolom

Umur (hari)	$f_c'(t)$ (MPa)	P_u (kN)	$\phi \cdot P_n$ (kN)
1	9,0	229,76	5393,5
7	11,9	229,76	6503,0
14	21,0	229,76	9984,7
21	26,6	229,76	12127,3
28	30,5	229,76	13619,5

3.2 Analisis Waktu Aman Pembongkaran Bekisting Balok

Perkembangan kuat tekan beton dari hari ke hari memiliki peranan penting dalam menentukan kemampuan elemen struktur untuk memikul beban,

khususnya pada tahap konstruksi. Balok sebagai salah satu elemen utama dalam sistem struktur bekerja menyalurkan beban dari pelat menuju kolom, sehingga memerlukan kapasitas momen lentur dan geser yang memadai sejak awal umur beton. Pada tahap pengecoran, bekisting balok berfungsi menahan beban segar beton sekaligus beban konstruksi tambahan. Oleh karena itu, waktu pelepasan bekisting tidak hanya bergantung pada umur beton secara nominal, melainkan juga pada kesesuaian antara beban yang bekerja dengan kapasitas balok pada saat tertentu.

Analisis dilakukan dengan membandingkan kuat tekan beton pada umur-umur tertentu dengan kapasitas momen nominal balok yang dihitung berdasarkan tulangan terpasang dan geometri penampang. Kapasitas ini kemudian dibandingkan dengan momen akibat kombinasi beban konstruksi sesuai SNI. Apabila kapasitas balok yang tersedia pada umur tertentu telah melampaui kebutuhan momen akibat beban konstruksi dengan faktor keamanan yang memadai, maka pada umur tersebut bekisting balok dapat dinyatakan aman untuk dilepaskan, setidaknya dengan propping yang masih terpasang.

Pada bekisting balok seperti Gambar 4, akan dianalisis apakah bekisting dapat dibongkar seluruhnya pada usia beton 14 hari. Balok tersebut berdimensi $60 \text{ cm} \times 70 \text{ cm}$ dengan panjang bentang bersih (*clear*) 8 m yang diantara ditopang *propping* dengan jarak 2 m. Sesuai Persamaan 2, maka untuk usia beton 1 hari, menghasilkan kapasitas lentur balok sebesar 352,8 kNm. Apabila penopang *propping* belum dibongkar, maka bekisting masih aman karena elemen struktur balok tersebut hanya menerima momen ultimit yang jauh lebih kecil dari kapasitas lenturnya, yaitu sebesar 23,5 kNm.



Gambar 4. Bekisting balok dengan bentang bersih 8 m, diantaranya ditopang penopang (*propping*) berjarak 2 m
(Sumber: Dokumentasi Proyek BOP)

Namun apabila penopang *propping* telah

dibongkar, maka bekisting menjadi tidak aman karena elemen struktur balok tersebut menerima momen ultimit yang lebih besar dari kapasitas lenturnya, yaitu sebesar 375,6 kNm. Secara lengkap, hubungan antara umur beton dengan peningkatan kapasitas lentur balok dapat dilihat pada Tabel 4. Bekisting balok dan *propping* dapat dilepas seluruhnya ketika usia beton telah mencapai 14 hari, kapasitas lentur telah meningkat melebihi dari momen ultimit yang bekerja.

Tabel 4. Hubungan Umur Beton dengan Peningkatan Kapasitas Lentur Balok

Topangan	Umur (hari)	L (m)	fc' (t) (MPa)	Mu (kNm)	φ.Mn (kNm)
Ada	1	2	9,0	23,5	352,8
Tidak Ada	1	8	9,0	375,6	352,8
Ada	7	2	11,88	23,5	363,8
Tidak Ada	7	8	11,88	375,6	363,8
Ada	14	2	21,0	23,5	378,7
Tidak Ada	14	8	21,0	375,6	378,7
Ada	21	2	26,6	23,5	382,8
Tidak Ada	21	8	26,6	375,6	382,8
Ada	28	2	30,5	23,5	384,8
Tidak Ada	28	8	30,5	375,6	384,8

Selanjutnya pada Tabel 5 disajikan hubungan peningkatan umur beton terhadap pengurangan lendutan yang terjadi. Meskipun dalam tabel tersebut menyatakan bahwa sejak beton berusia satu hari masih memiliki lendutan yang berada dibawah syarat batas lendutan, namun faktor kekuatan atau kapasitas lentur balok tetap menjadi prioritas.

Tabel 5. Hubungan Umur Beton dengan Perubahan Lendutan Balok

Topangan	Umur (hari)	L (m)	fc' (t) MPa	Δ mm	Batas mm
Ada	1	2	9,0	0,03	8,33
Tidak Ada	1	8	9,0	7,80	33,33
Ada	7	2	11,9	0,02	8,33
Tidak Ada	7	8	11,9	5,52	33,33
Ada	14	2	21,0	0,02	8,33
Tidak Ada	14	8	21,0	5,11	33,33
Ada	21	2	26,6	0,02	8,33
Tidak Ada	21	8	26,6	4,55	33,33
Ada	28	2	30	0,02	8,33

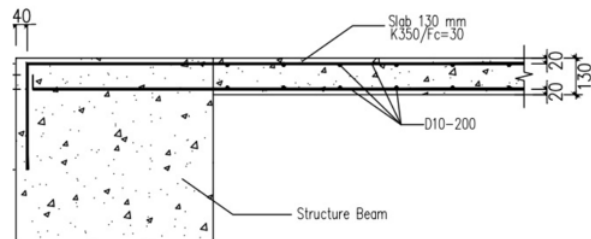
Tidak Ada	28	8	30	4,27	33,33
-----------	----	---	----	------	-------

3.3 Analisis Waktu Aman Pembongkaran Bekisting Pelat

Pada bekisting pelat seperti Gambar 5 dengan detail penulangannya seperti pada Gambar 6, akan dianalisis apakah pelat tersebut dapat dibongkar seluruhnya pada usia beton 14 hari. Pelat tersebut memiliki tebal 130 mm dengan luasan pelat berukuran 4 m x 4 m. Sesuai Persamaan 2, maka untuk usia beton 1 hari, menghasilkan kapasitas lentur pelat sebesar 14,8 kNm. Apabila penopang *propping* belum dibongkar, maka bekisting masih aman karena elemen struktur balok tersebut hanya menerima momen ultimit yang jauh lebih kecil dari kapasitas lenturnya, yaitu sebesar 2,2 kNm. Namun apabila penopang *propping* telah dibongkar, maka bekisting masih aman karena elemen struktur pelat tersebut menerima momen ultimit yang masih lebih kecil dari kapasitas lenturnya, yaitu 15,5 kNm.



Gambar 5. Bekisting Pelat (Sumber: Dokumentasi Proyek BOP)



Gambar 6. Detail Penulangan Pelat (Sumber: Dokumentasi Proyek BOP)

Secara lengkap, hubungan antara umur beton dengan peningkatan kapasitas lentur pelat dapat dilihat pada Tabel 6. Bekisting pelat dan *propping* dapat dilepas seluruhnya ketika usia beton telah mencapai 14 hari, kapasitas lentur telah meningkat melebihi dari momen ultimit yang bekerja.

Tabel 6. Hubungan Umur Beton dengan Peningkatan Kapasitas Lentur Pelat

Topangan	L	Umur (hari)	fc (MPa)	ϕ .Mn (kNm)	Mu (kNm)
Propping	1,5	1	9,0	14,8	2,2
Clear	4	1	9,0	14,8	15,5
Propping	1,5	7	11,9	15,2	2,2
Clear	4	7	11,9	15,2	15,5
Propping	1,5	14	21,0	15,6	2,2
Clear	4	14	21,0	15,6	15,5
Propping	1,5	21	26,6	15,8	2,2
Clear	4	21	26,6	15,8	15,5
Propping	1,5	28	30,5	15,8	2,2
Clear	4	28	30,5	15,8	15,5

3.4 Pembahasan Waktu Pembongkaran

Pada Gambar 7 berikut menggambarkan hubungan umur beton dengan kuat tekan relatif dan rekomendasi waktu pembongkaran. Grafik pada gambar tersebut menunjukkan bahwa kolom dan dinding dapat dibongkar setelah 1–2 hari, sisi balok pada 3–4 hari, pelat dengan penyangga pada 7 hari, balok/pelat bentang sedang pada 14 hari, dan seluruh elemen dapat dibongkar setelah mencapai umur 21–28 hari ketika beton mendekati kekuatan penuh. Gambar 7 memperlihatkan kurva perkembangan kuat tekan relatif beton (% $f'c$) terhadap umur, serta rekomendasi waktu pembongkaran bekisting menurut SNI 2847:2019 ACI 347 [19]. Dari grafik terlihat bahwa kuat tekan beton mengalami kenaikan signifikan pada 7 hari pertama, di mana beton telah mencapai sekitar 60–70% dari kuat tekan rencana ($f'c$). Pada umur 14 hari, kekuatan beton umumnya berada pada kisaran 80–90%, dan mendekati 100% pada umur 28 hari. SNI 2847:2019 memberikan ketentuan bahwa pembongkaran bekisting dapat dilakukan apabila beton telah mencapai kekuatan yang cukup untuk memikul beban sendiri maupun beban konstruksi, yang umumnya dikaitkan dengan persentase tertentu dari $f'c$.

Kurva perkembangan kuat tekan beton tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa bekisting samping kolom dan balok dapat dibongkar lebih awal (1–3 hari), karena hanya berfungsi sebagai cetakan dan tidak berperan menahan beban struktural. Bekisting bawah pelat dan balok (soffit) sebaiknya dibongkar setelah beton mencapai sekitar 70% $f'c$ atau pada kisaran umur 7–14 hari, dengan

catatan propping masih dipertahankan sampai beton cukup kuat. Propping akhir baru dapat dilepas sepenuhnya ketika kuat tekan beton mendekati nilai rencana (≥ 80 –90% $f'c$), biasanya pada umur sekitar 14–21 hari, tergantung pada kondisi lapangan dan beban tambahan yang bekerja.

Dengan demikian, Gambar 7 tidak hanya menggambarkan tren perkembangan kuat tekan beton, tetapi juga menjadi dasar untuk menentukan strategi pembongkaran bekisting secara bertahap yang selaras dengan ketentuan SNI 2847:2019 dan ACI 347 [19]. Pendekatan ini memberikan jaminan bahwa pembongkaran dilakukan pada saat struktur sudah cukup kuat, sehingga keselamatan konstruksi tetap terjaga sekaligus memungkinkan efisiensi waktu pekerjaan.

3.5 Risiko Pembongkaran Terlalu Cepat

Pembongkaran bekisting yang dilakukan sebelum beton mencapai kekuatan minimum menimbulkan berbagai risiko yang dapat memengaruhi mutu maupun keamanan struktur. Salah satu risiko yang paling serius adalah munculnya retak permanen pada elemen struktur, akibat beton belum memiliki kapasitas menahan beban sendiri maupun beban konstruksi tambahan. Retakan ini bukan hanya berdampak pada estetika, tetapi juga dapat mengurangi durabilitas dan menurunkan kinerja jangka panjang elemen beton.

Selain itu, pembongkaran dini sering mengakibatkan lendutan berlebih pada pelat atau balok. Beton yang belum cukup kuat kehilangan dukungan yang seharusnya masih dipertahankan oleh bekisting, sehingga terjadi deformasi yang sulit diperbaiki. Dalam kasus yang lebih parah, dapat terjadi kegagalan lokal pada ujung balok atau sambungan. Bagian tersebut merupakan titik kritis yang menanggung gaya konsentrasi, sehingga sangat rentan jika bekisting dibongkar sebelum waktunya.

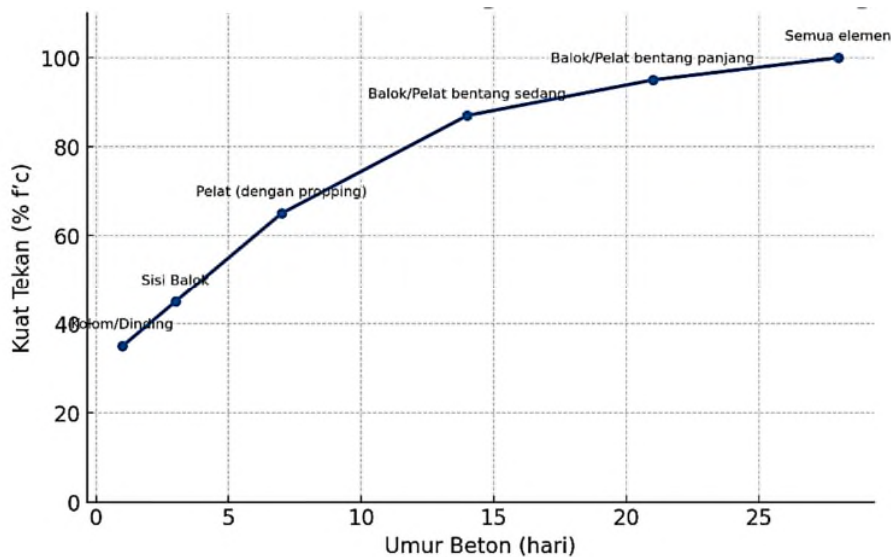
Risiko lain yang juga signifikan adalah penurunan kualitas permukaan beton. Beton segar yang masih dalam tahap hidrasi awal cenderung rapuh; pembongkaran yang terburu-buru menyebabkan terkelupasnya lapisan permukaan, menimbulkan rongga, atau bahkan *honeycomb* [15]. Kondisi ini tidak hanya menurunkan kualitas visual, tetapi juga berpotensi melemahkan lapisan pelindung tulangan dari pengaruh lingkungan agresif.

Dengan demikian, pembongkaran bekisting terlalu cepat dapat menimbulkan kerugian struktural maupun non-struktural. Risiko-risiko ini

memperkuat pentingnya memastikan bahwa beton telah mencapai minimal 70% $f'c$ sebelum bekisting dilepaskan, sehingga keselamatan struktur tetap terjaga dan kualitas konstruksi dapat dipertahankan. Hasil kajian menunjukkan bahwa umur beton tidak dapat dijadikan satu-satunya acuan dalam menentukan waktu pembongkaran bekisting. Faktor yang lebih penting adalah pencapaian kuat tekan beton. Misalnya, pada proyek dengan cuaca panas dan penggunaan semen cepat ikat, beton dapat mencapai 70% $f'c$ lebih cepat dibanding kondisi

normal. Sebaliknya, pada cuaca dingin atau kelembapan tinggi, pencapaian kuat tekan dapat tertunda.

Dengan demikian, metode paling akurat adalah melakukan pengujian kuat tekan silinder/kubus pada umur tertentu, sehingga keputusan pembongkaran dapat didasarkan pada data aktual, bukan asumsi umur. Hal ini sejalan dengan prinsip dalam SNI 2847:2019 yang menekankan pada pencapaian kapasitas struktural minimum sebelum pembongkaran.



Gambar 7. Hubungan umur beton dengan kuat tekan dan rekomendasi waktu pembongkaran bekisting

5. Simpulan

Pembongkaran bekisting harus mempertimbangkan kuat tekan beton yang telah dicapai, bukan hanya umur. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hubungan antara perkembangan kuat tekan beton dengan kapasitas elemen struktur sangat menentukan dalam penentuan waktu aman pembongkaran bekisting. Analisis yang dilakukan pada balok, kolom, dan pelat memperlihatkan bahwa kapasitas lentur, tekan, maupun geser pada umur beton tertentu umumnya telah melampaui tuntutan beban konstruksi sesuai SNI, bahkan pada usia beton yang relatif muda.

Balok terbukti mampu menahan momen lentur dan gaya geser akibat beban konstruksi berusia 14 hari, meskipun pelepasan bekisting bawah tetap perlu dilakukan bertahap dengan mempertahankan propping untuk menjamin keamanan. Kolom, sebagai elemen tekan utama, memiliki kapasitas aksial yang jauh lebih besar dari beban yang bekerja, sehingga pembongkaran

bekisting sisi dapat dilakukan lebih awal, sepanjang aspek stabilitas global struktur tetap diperhatikan. Pada pelat, selain kapasitas momen, evaluasi lendutan layanan menunjukkan bahwa lendutan yang terjadi masih dalam batas ijin, sehingga pembongkaran bekisting dapat dilakukan lebih cepat dengan syarat propping tetap dijaga hingga umur beton cukup.

Dengan demikian, penelitian ini berhasil menjawab tujuan utama, yaitu memberikan dasar teknis yang lebih akurat dalam menentukan waktu aman pembongkaran bekisting berdasarkan evaluasi beban dan kapasitas struktur pada berbagai umur beton. Pendekatan ini lebih rasional dibandingkan hanya mengikuti patokan umur standar, karena mempertimbangkan kondisi nyata perkembangan beton dan beban konstruksi yang bekerja. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan praktis bagi pelaksana konstruksi untuk meningkatkan keamanan sekaligus efisiensi waktu dalam proses pembangunan.

Daftar Pustaka

- [1] Nurokhman, I. Suharyanto, and U. Rochmawati, "Evaluasi Mutu Beton dari Berbagai Ready Mix pada Gedung Parkir Yogyakarta International Airport," *Civil Engineering and Technology Journal*, vol. 3, no. 2, Aug. 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/CivETech/issue/archive>
- [2] J. Hartono, Masrianto, I. Laksmi Widuri, B. Dhanardono, and H. Teguh Santoso, "Alternatif Perencanaan Komposisi Campuran Beton Dengan Gabungan Bahan Tambah Kimia Tipe F dan D Agar Waktu Buka Acuan Dipercepat," *Jurnal Jalan-Jembatan*, vol. 39, no. 2, pp. 1–14, 2022.
- [3] Y. Nam, K. Jeong, W. Kim, H. Choi, and T. Lee, "Evaluation on Early Strength Development of Concrete Mixed with Non-Sintered Hwangto Using Ultrasonic Pulse Velocity," *Materials*, vol. 16, no. 21, Nov. 2023, doi: 10.3390/ma16216850.
- [4] W. Kim, J. Kim, Y. Kim, T. Lee, and S. Park, "Experimental studies for evaluation of the removal time of form on concrete using ultrasonic pulse velocity methods," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 21, p. e03837, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.CSCM.2024.E03837.
- [5] J. Kim and S. Shin, "Quantitative Verification of Concrete Formwork-Striking-Time Reduction by High Blaine Ordinary Portland Cement," *Materials*, vol. 16, no. 3, Feb. 2023, doi: 10.3390/ma16031077.
- [6] G. S. Ryu, G. H. An, Y. S. Yoon, J. Y. Kim, and S. Choi, "Evaluation of Concrete Compressive Strength Prediction Using the Maturity Method Incorporating Various Curing Temperatures and Binder Compositions," *Materials*, vol. 17, no. 23, Dec. 2024, doi: 10.3390/ma17235794.
- [7] T. Lee, J. Lee, J. Kim, H. Choi, and D. E. Lee, "Effect of formwork removal time reduction on construction productivity improvement by mix design of early strength concrete," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 20, pp. 1–15, Oct. 2020, doi: 10.3390/app10207046.
- [8] A. Marchewka, P. Ziolkowski, and S. García Galán, "Real-time prediction of early concrete compressive strength using AI and hydration monitoring," *Sci Rep*, vol. 15, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-97060-w.
- [9] M. A. R. G. Buana, W. Wibowo, and S. Setiono, "Kajian Maturitas Beton untuk Memprediksi Nilai Kuat Tekan dengan Variasi Kadar Accelerator," *Sustainable Civil Building Management and Engineering Journal*, vol. 1, no. 3, p. 10, Jul. 2024, doi: 10.47134/scbmej.v1i3.3019.
- [10] H. Qasrawi, "The use of NDT to evaluate maturity for taking off formwork under hot curing," *Constr Build Mater*, vol. 400, p. 132437, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.132437.
- [11] D. Miller, N. M. Ho, and N. Talebian, "Monitoring of in-place strength in concrete structures using maturity method – An overview," *Structures*, vol. 44, pp. 1081–1104, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.ISTRUC.2022.08.077.
- [12] S. Wang *et al.*, "Prediction and optimization model of sustainable concrete properties using machine learning, deep learning and swarm intelligence: A review," *Journal of Building Engineering*, vol. 80, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.job.2023.108065.
- [13] X. Zhang, M. Z. Akber, and W. Zheng, "Prediction of seven-day compressive strength of field concrete," *Constr Build Mater*, vol. 305, p. 124604, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.124604.
- [14] N. Ospitia, R. Jaramani, O. Remy, and D. G. Aggelis, "Determination of Concrete Formwork Removal Time Based on Ultrasound Reflection," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 3, Feb. 2022, doi: 10.3390/app12031221.
- [15] G. S. Fadillah, R. A. Putri, S. Tudjono, and Y. A. Priastiwi, "Kajian Susut Beton Pada Struktur Beton Bertulang Yang Cepat Bongkar Perancah: Studi Kasus Gedung ICT Center Universitas Diponegoro," *Jurnal Karya Teknik Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 214–227, 2017.
- [16] N. Yaseen, S. Alcivar-Bastidas, M. Irfan-ul-Hassan, D. M. Petroche, A. U. Qazi, and A. D. Ramirez, "Concrete incorporating supplementary cementitious materials: Temporal evolution of compressive strength and environmental life cycle assessment," *Heliyon*, vol. 10, no. 3, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e25056.

- [17] SNI 2847, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya*. Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [18] SNI 1727, *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Badan Standardisasi Nasional, 2020.
- [19] ACI PRC-347.2-17(25), *Guide for Shoring/Reshoring of Concrete Multistory Buildings (Reapproved 2025)*. American Concrete Institute, 2025.