

Evaluasi Kapasitas Lentur Sambungan Beton Lama–Baru Menggunakan Bonding Agent dengan Variasi Umur Beton dan Sudut Bidang Sambungan

Ahmad Jecko Ferry Adi^{1*}, Ichwan Dwi Rohani²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

*Penulis korespondensi, email: D100140029@student.ums.ac.id

Abstrak— Pengecoran beton yang dilakukan secara bertahap sering menghasilkan bidang sambungan yang berpotensi menurunkan kinerja struktur, terutama terhadap beban lentur. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh umur beton eksisting dan sudut bidang sambungan terhadap kapasitas lentur balok beton mutu rencana 20 MPa yang disambung menggunakan bonding agent. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan balok beton dengan variasi umur beton lama 14 dan 28 hari serta sudut sambungan 45° dan 60°. Permukaan sambungan dipersiapkan dengan pengasaran dan pelapisan bonding agent sebelum pengecoran beton baru. Pengujian meliputi slump, kuat tekan, dan kuat lentur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton yang dihasilkan mencapai kuat tekan rata-rata 22,34 MPa pada umur 28 hari sehingga memenuhi mutu rencana. Balok tanpa sambungan memiliki kuat lentur rata-rata sebesar 3,02 MPa. Kapasitas lentur sambungan cenderung menurun seiring bertambahnya umur beton lama saat penyambungan. Sambungan dengan sudut 45° menunjukkan kinerja lentur lebih baik dibandingkan sudut 60°. Penggunaan bonding agent mampu meningkatkan kapasitas lentur sambungan rata-rata sebesar 12,8% dibandingkan sambungan tanpa bahan perekat. Dapat disimpulkan bahwa umur penyambungan, geometri bidang sambungan, dan penggunaan bonding agent berpengaruh terhadap kapasitas lentur balok beton. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar dalam perencanaan dan pelaksanaan sambungan konstruksi untuk mempertahankan integritas struktur pada pekerjaan pengecoran bertahap.

Kata kunci: bonding agent, kapasitas lentur, sambungan beton, beton mutu 20 MPa

This article is licensed under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

1. Pendahuluan

Beton merupakan material konstruksi yang paling luas digunakan pada berbagai jenis infrastruktur karena memiliki kemampuan menahan beban tekan yang baik, mudah dibentuk, ekonomis, serta dapat dirancang sesuai kebutuhan struktur. Keunggulan tersebut menjadikan beton tetap menjadi pilihan utama dalam pembangunan gedung, jembatan, perkerasan, maupun sistem struktur pracetak [1], [2]. Seiring meningkatnya kebutuhan pembangunan berkelanjutan, pengembangan material dan teknologi beton terus dilakukan, baik melalui penggunaan material alternatif, serat, maupun biokomposit untuk meningkatkan kinerja struktur dan efisiensi konstruksi [3]–[5]. Dalam praktik konstruksi, proses pengecoran beton idealnya dilakukan secara kontinu sehingga menghasilkan elemen yang monolit. Namun, kondisi lapangan sering menyebabkan pengecoran harus dilakukan secara bertahap akibat keterbatasan waktu, volume pekerjaan, cuaca, gangguan logistik, maupun perubahan desain. Kondisi tersebut menghasilkan bidang sambungan antara beton lama dan beton baru yang berpotensi menjadi titik lemah struktur apabila tidak ditangani dengan benar. Permasalahan sambungan konstruksi menjadi

semakin penting karena kualitas ikatan antarbeton berpengaruh terhadap kemampuan struktur dalam menahan beban, baik beban statis maupun dinamis [6], [7].

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kinerja elemen beton sangat dipengaruhi oleh kualitas material, mutu beton, dimensi penampang, rasio tulangan, metode perkuatan, serta kondisi bidang sambungan. Pengaruh faktor-faktor tersebut telah dilaporkan pada penelitian mengenai kapasitas lentur balok beton bertulang [8], [9], penggunaan bundel tulangan [10], perkuatan menggunakan baja hollow [11], penggunaan CFRP sebagai perkuatan lentur [12]–[14], rehabilitasi struktur beton [15], serta perbaikan balok menggunakan mortar polimer [16]. Selain itu, penelitian terkait keretakan dan perbaikan balok beton juga menunjukkan bahwa kualitas sambungan dan metode rehabilitasi memiliki pengaruh signifikan terhadap performa struktur [17]. Pada sisi material, mutu beton sangat dipengaruhi oleh proporsi campuran, kualitas agregat, dan proses pelaksanaan. Perencanaan campuran beton normal umumnya mengacu pada SNI 03-2834-2000 [18], sedangkan pengendalian workability dapat dilakukan melalui pengujian slump sesuai SNI 1972:2008 [19]. Nilai slump yang sesuai akan mendukung homogenitas campuran dan perkembangan kekuatan beton yang optimal [20]. Kinerja beton selanjutnya dapat dievaluasi melalui pengujian kuat tekan yang merupakan parameter utama dalam desain struktur beton [21]–[23].

Salah satu parameter penting dalam evaluasi elemen balok adalah kapasitas lentur. Kuat lentur menggambarkan kemampuan beton menahan tegangan tarik akibat pembebanan melintang hingga terjadi retak atau keruntuhan. Pengujian kuat lentur umumnya dilakukan berdasarkan standar ASTM C78 menggunakan metode third-point loading untuk memperoleh perilaku lentur yang representatif [24], [25]. Penelitian Fládr dan Bílý menunjukkan bahwa karakteristik material dan konfigurasi benda uji berpengaruh terhadap nilai kuat lentur yang diperoleh [26]. Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji kapasitas lentur dan metode perkuatan beton, kajian mengenai sambungan beton lama–baru masih relatif terbatas, terutama yang menghubungkan pengaruh umur beton eksisting, geometri bidang sambungan, dan penggunaan bonding agent secara bersamaan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa bonding agent mampu meningkatkan kinerja geser pada interface beton dengan variasi umur penyambungan [27]. Namun, penelitian tersebut berfokus pada mekanisme slant shear sehingga belum memberikan gambaran menyeluruh mengenai perilaku lentur balok beton yang mengalami sambungan konstruksi. Dengan demikian, masih terdapat kebutuhan untuk mengevaluasi efektivitas bonding agent terhadap kapasitas lentur sambungan beton pada berbagai kondisi umur beton dan konfigurasi bidang sambungan.

Meskipun penelitian mengenai sambungan beton telah banyak dilakukan, masih terdapat kesenjangan penelitian yang perlu dikaji lebih lanjut. Sebagian besar studi terdahulu berfokus pada peningkatan sifat material beton, kapasitas lentur balok, metode perkuatan, atau kinerja geser pada bidang sambungan [9]–[12], [27]. Penelitian oleh Raya dan Anggraini [27] menunjukkan bahwa penggunaan bonding agent dapat meningkatkan kekuatan geser pada interface beton dengan variasi umur penyambungan, namun belum mengevaluasi pengaruhnya terhadap kapasitas lentur elemen balok secara menyeluruh. Selain itu, kajian yang mengombinasikan pengaruh umur beton lama saat penyambungan dengan variasi geometri bidang sambungan masih sangat terbatas. Padahal, kedua parameter tersebut berpotensi memengaruhi luas bidang kontak, mekanisme transfer tegangan, dan efektivitas ikatan antara beton lama dan beton baru. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang secara simultan mengevaluasi pengaruh umur beton eksisting, sudut bidang sambungan, dan penggunaan bonding agent terhadap kapasitas lentur balok beton sehingga dapat diperoleh rekomendasi teknis yang lebih komprehensif untuk pekerjaan sambungan konstruksi di lapangan.

Urgensi penelitian ini terletak pada banyaknya pekerjaan konstruksi yang memerlukan pengecoran bertahap, baik pada pembangunan gedung, perbaikan struktur eksisting, maupun sistem konstruksi pracetak. Informasi mengenai konfigurasi sambungan yang mampu mempertahankan kapasitas lentur sangat diperlukan untuk mengurangi risiko penurunan kinerja struktur serta meningkatkan keandalan

sambungan konstruksi di lapangan.

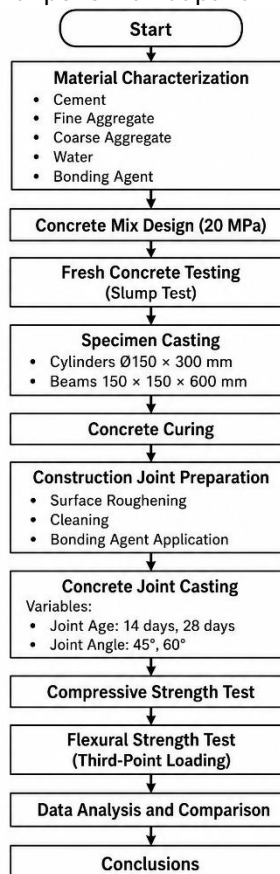
Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada evaluasi simultan pengaruh umur beton lama saat penyambungan, variasi sudut bidang sambungan 45° dan 60°, serta penggunaan bonding agent terhadap kapasitas lentur balok beton mutu 20 MPa. Pendekatan tersebut diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perilaku sambungan beton lama–baru dibandingkan penelitian terdahulu yang umumnya hanya meninjau salah satu parameter.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas lentur sambungan beton lama–baru menggunakan bonding agent dengan variasi umur beton dan sudut bidang sambungan, menentukan konfigurasi sambungan yang memberikan kinerja lentur terbaik, serta mengidentifikasi efektivitas penggunaan bonding agent dalam meningkatkan kualitas ikatan antara beton lama dan beton baru.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk mengevaluasi kapasitas lentur sambungan beton lama–baru yang menggunakan bonding agent. Variabel yang ditinjau meliputi umur beton eksisting saat penyambungan dan sudut bidang sambungan. Beton yang digunakan direncanakan memiliki mutu tekan sebesar 20 MPa. Pengujian dilakukan terhadap balok beton tanpa sambungan, balok beton dengan sambungan menggunakan bonding agent, serta balok beton dengan sambungan tanpa bonding agent sebagai pembanding.

Tahapan penelitian secara umum meliputi pemeriksaan material penyusun beton, perancangan campuran beton, pembuatan benda uji, proses penyambungan beton, pengujian beton segar, pengujian kuat tekan, dan pengujian kuat lentur. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Material yang digunakan terdiri atas semen Portland, agregat halus, agregat kasar, air bersih, dan bonding agent sebagai bahan perekat pada bidang sambungan. Sebelum digunakan, agregat diperiksa untuk memastikan kesesuaiannya dengan persyaratan beton normal. Pemeriksaan yang dilakukan meliputi kadar air, berat jenis, daya serap, gradasi agregat, dan kandungan material halus. Peralatan utama yang digunakan meliputi mesin uji tekan beton, mesin uji lentur, cetakan silinder, cetakan balok, alat slump test, timbangan digital, serta peralatan pencampuran beton.

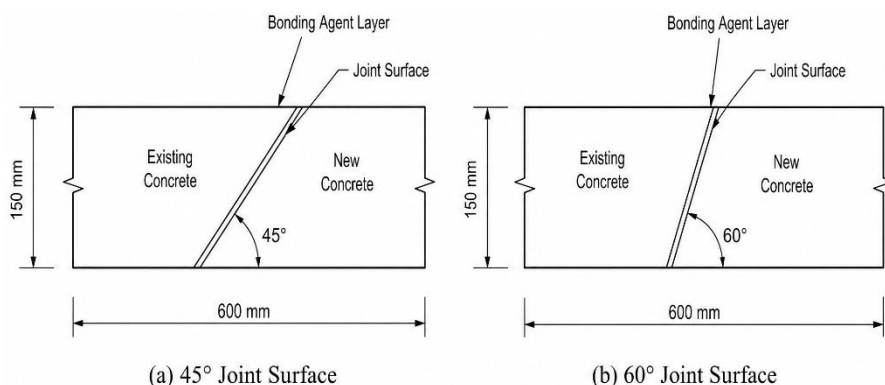
Perancangan campuran beton dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000 dengan mutu rencana 20 MPa. Komposisi campuran ditentukan untuk menghasilkan workability yang sesuai dengan kebutuhan pengecoran balok dan benda uji silinder. Sebelum pembuatan benda uji, dilakukan pengujian slump untuk mengevaluasi konsistensi campuran beton segar. Nilai slump yang ditargetkan berada pada rentang 30–60 mm sesuai ketentuan pengujian beton normal.

Benda uji yang digunakan terdiri atas silinder beton untuk pengujian kuat tekan dan balok beton untuk pengujian kuat lentur. Silinder beton dibuat dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari dengan tiga benda uji untuk setiap umur pengujian. Balok beton dibuat dengan dimensi 150 mm × 150 mm × 600 mm. Variasi benda uji yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi benda uji penelitian

Kode	Jenis Sambungan	Sudut Sambungan	Umur Beton Lama
BS	Tanpa sambungan	-	-
B45-14	Bonding agent	45°	14 hari
B45-28	Bonding agent	45°	28 hari
B60-14	Bonding agent	60°	14 hari
B60-28	Bonding agent	60°	28 hari
NB45-14	Tanpa bonding agent	45°	14 hari
NB45-28	Tanpa bonding agent	45°	28 hari
NB60-14	Tanpa bonding agent	60°	14 hari
NB60-28	Tanpa bonding agent	60°	28 hari

Masing-masing variasi balok dibuat sebanyak tiga benda uji sehingga diperoleh data yang dapat digunakan untuk analisis statistik sederhana. Penyambungan dilakukan setelah beton lama mencapai umur yang telah ditentukan, yaitu 14 hari dan 28 hari. Sebelum pengecoran beton baru dilakukan, permukaan beton lama dibersihkan dari debu, partikel lepas, dan kotoran lainnya. Selanjutnya bidang sambungan dibuat kasar untuk meningkatkan mekanisme interlocking antara beton lama dan beton baru. Konfigurasi bidang sambungan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas kemiringan 45° dan 60°. Bentuk bidang sambungan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.



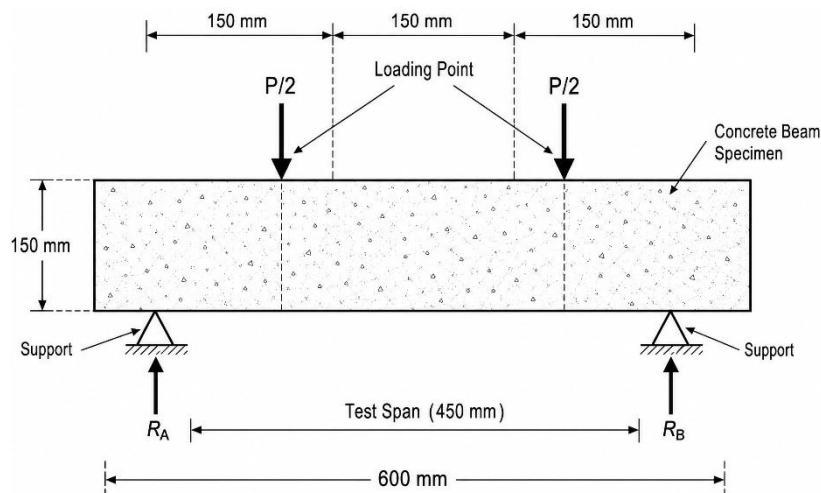
Gambar 2. Variasi sudut bidang sambungan beton

Pada kelompok benda uji dengan bonding agent, permukaan sambungan terlebih dahulu dilapisi bahan perekat sesuai petunjuk penggunaan produk sebelum pengecoran beton baru dilakukan. Sementara itu, kelompok kontrol tidak diberikan perlakuan bonding agent. Pengujian beton segar dilakukan menggunakan metode slump test untuk menentukan tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) campuran beton. Pengujian dilaksanakan segera setelah proses pencampuran selesai. Nilai slump yang diperoleh digunakan untuk memastikan bahwa campuran beton memenuhi rentang yang telah direncanakan.

Pengujian kuat tekan dilakukan terhadap benda uji silinder menggunakan mesin uji tekan. Pengujian dilaksanakan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Nilai kuat tekan dihitung berdasarkan rasio antara beban maksimum yang diterima benda uji terhadap luas penampang silinder. Data hasil pengujian kuat tekan selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian mutu beton yang dihasilkan dengan mutu rencana sebesar 20 MPa. Setelah umur pengujian tercapai, seluruh benda uji balok diuji menggunakan metode third-point loading sesuai ASTM C78. Konfigurasi pengujian lentur yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 3.

Jarak bentang pengujian ditetapkan sebesar 450 mm dengan dua titik pembebanan simetris. Beban diberikan secara bertahap hingga balok mengalami retak dan mencapai kondisi runtuh. Nilai kuat lentur dihitung berdasarkan beban maksimum yang tercatat selama pengujian. Selain nilai kuat lentur, pola keruntuhan dan lokasi retak juga diamati untuk mengevaluasi pengaruh umur sambungan, sudut bidang sambungan, dan penggunaan bonding agent terhadap perilaku lentur balok beton.

Data hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur dianalisis secara deskriptif menggunakan nilai rata-rata dari setiap variasi benda uji. Selanjutnya dilakukan perbandingan antara balok tanpa sambungan, balok dengan sambungan tanpa bonding agent, dan balok dengan sambungan menggunakan bonding agent untuk menentukan efektivitas penggunaan bonding agent dalam meningkatkan kapasitas lentur sambungan beton lama-baru.



Gambar 3. Skema pengujian kuat lentur balok beton

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian beton segar dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) campuran beton sebelum dilakukan pencetakan benda uji. *Workability* yang baik diperlukan agar proses pengecoran dan pemadatan dapat berlangsung secara optimal sehingga menghasilkan beton yang homogen. Pada penelitian ini seluruh campuran beton dirancang untuk menghasilkan mutu rencana sebesar 20 MPa dengan konsistensi yang relatif seragam. Pengujian dilakukan menggunakan metode slump test pada setiap jenis campuran yang digunakan untuk pembuatan benda uji. Hasil pengujian slump selengkapnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Slump Beton

Jenis Campuran	Nilai Slump (mm)
Beton untuk benda uji silinder	42
Beton untuk balok tanpa sambungan	40
Beton untuk sambungan umur 14 hari	43
Beton untuk sambungan umur 28 hari	45

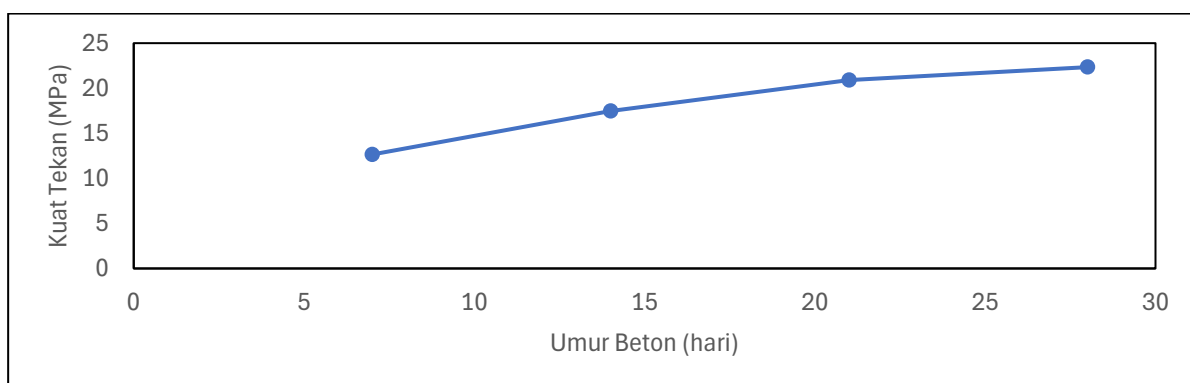
Berdasarkan Tabel 2, nilai slump yang diperoleh berada pada rentang 40–45 mm. Nilai tersebut masih berada dalam rentang yang direncanakan sehingga campuran beton dinilai memiliki workability yang memadai untuk proses pengecoran. Perbedaan nilai slump antar campuran relatif kecil sehingga dapat diasumsikan bahwa seluruh benda uji dibuat dengan tingkat konsistensi yang hampir sama. Kondisi ini penting untuk memastikan bahwa perbedaan hasil pengujian yang diperoleh tidak dipengaruhi oleh variasi workability beton. Dengan demikian, pengaruh umur beton lama, sudut bidang sambungan, dan penggunaan bonding agent dapat diamati secara lebih objektif.

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk memastikan bahwa beton yang digunakan dalam penelitian memenuhi mutu rencana sebesar 20 MPa. Pengujian dilaksanakan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari menggunakan benda uji silinder. Nilai kuat tekan yang diperoleh menggambarkan perkembangan kekuatan beton selama proses hidrasi berlangsung. Selain digunakan sebagai parameter mutu beton, hasil pengujian ini juga menjadi dasar dalam menentukan kondisi beton lama saat proses penyambungan dilakukan. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Umur Beton (hari)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
7	12,65
14	17,48
21	20,91
28	22,34

Untuk memperjelas perkembangan kuat tekan beton terhadap umur pengujian, data pada Tabel 3 ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4. Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 4, kuat tekan beton mengalami peningkatan secara bertahap seiring bertambahnya umur perawatan. Pada umur 7 hari beton telah mencapai kuat tekan rata-rata sebesar 12,65 MPa, kemudian meningkat menjadi 17,48 MPa pada umur 14 hari. Kenaikan kekuatan masih berlanjut hingga mencapai 20,91 MPa pada umur 21 hari dan 22,34 MPa pada umur 28 hari. Pola tersebut menunjukkan bahwa proses hidrasi semen berlangsung dengan baik sehingga menghasilkan perkembangan kekuatan yang normal. Nilai kuat tekan umur 28 hari telah melampaui mutu rencana sebesar 20 MPa sehingga beton yang digunakan dalam penelitian dinyatakan memenuhi persyaratan mutu yang ditetapkan.

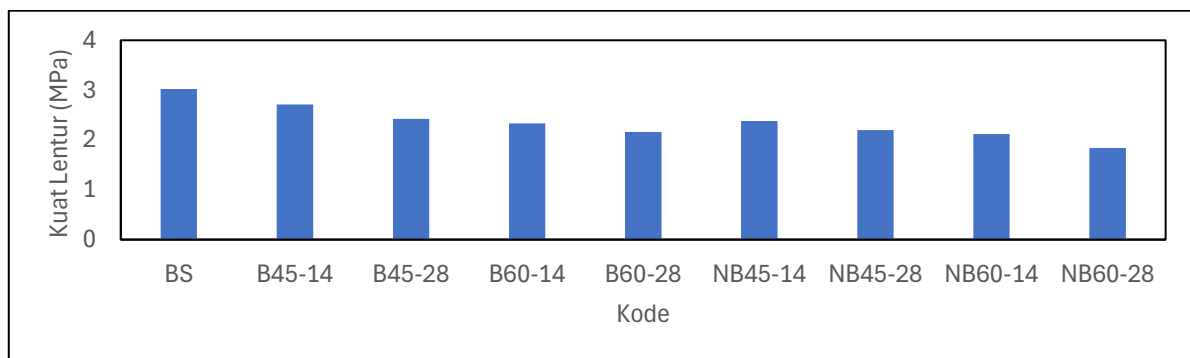


Gambar 4. Perkembangan kuat tekan beton terhadap umur pengujian

Pengujian kuat lentur dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan bonding agent, umur beton lama saat penyambungan, dan sudut bidang sambungan terhadap kapasitas lentur balok beton. Seluruh benda uji diuji menggunakan metode third-point loading hingga terjadi retak dan keruntuhan. Nilai kuat lentur dihitung berdasarkan beban maksimum yang mampu ditahan oleh balok selama proses pembebanan. Untuk mempermudah perbandingan antar variasi benda uji, hasil pengujian kuat lentur rata-rata disajikan pada Tabel 4. Perbandingan kuat lentur rata-rata seluruh benda uji pada Tabel 4 ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.

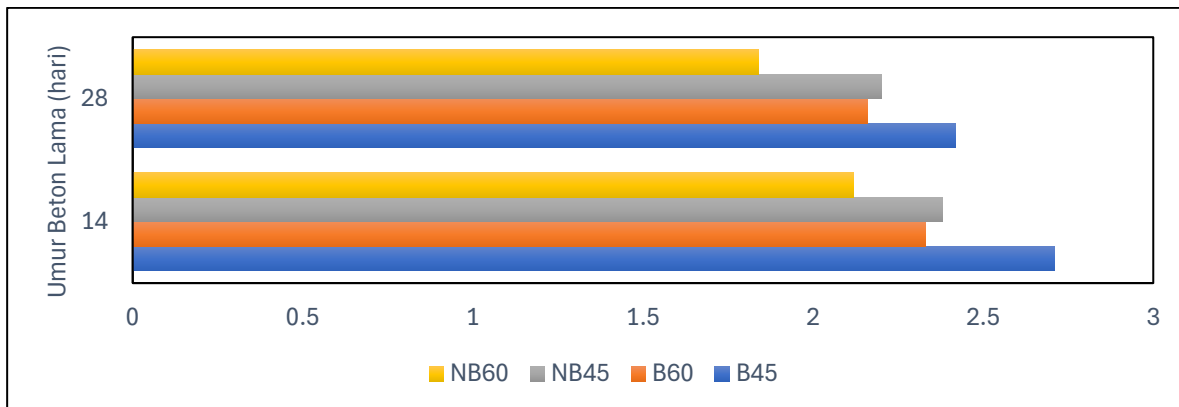
Tabel 4. Kuat Lentur Rata-rata Benda Uji

Kode	Deskripsi Benda Uji	Kuat Lentur (MPa)
BS	Balok tanpa sambungan	3,02
B45-14	Sambungan dengan bonding agent, sudut 45°, umur beton lama 14 hari	2,71
B45-28	Sambungan dengan bonding agent, sudut 45°, umur beton lama 28 hari	2,42
B60-14	Sambungan dengan bonding agent, sudut 60°, umur beton lama 14 hari	2,33
B60-28	Sambungan dengan bonding agent, sudut 60°, umur beton lama 28 hari	2,16
NB45-14	Sambungan tanpa bonding agent, sudut 45°, umur beton lama 14 hari	2,38
NB45-28	Sambungan tanpa bonding agent, sudut 45°, umur beton lama 28 hari	2,20
NB60-14	Sambungan tanpa bonding agent, sudut 60°, umur beton lama 14 hari	2,12
NB60-28	Sambungan tanpa bonding agent, sudut 60°, umur beton lama 28 hari	1,84



Gambar 5. Perbandingan kuat lentur rata-rata seluruh benda uji

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 5, benda uji BS menghasilkan kapasitas lentur tertinggi sebesar 3,02 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa balok beton tanpa sambungan masih memiliki perilaku struktural terbaik karena tidak terdapat bidang diskontinuitas yang dapat mengganggu distribusi tegangan. Seluruh benda uji yang mengalami penyambungan menunjukkan penurunan kapasitas lentur dibandingkan benda uji BS. Namun demikian, penggunaan bonding agent terbukti mampu mempertahankan kapasitas lentur pada tingkat yang lebih tinggi dibandingkan sambungan tanpa bonding agent. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kualitas ikatan pada bidang sambungan memiliki peran penting terhadap kemampuan balok dalam menahan beban lentur. Untuk mengevaluasi pengaruh umur beton lama terhadap kapasitas lentur sambungan, dilakukan perbandingan antara benda uji yang disambung pada umur beton lama 14 hari dan 28 hari. Perubahan kuat lentur akibat variasi umur beton lama ditunjukkan pada Gambar 6.



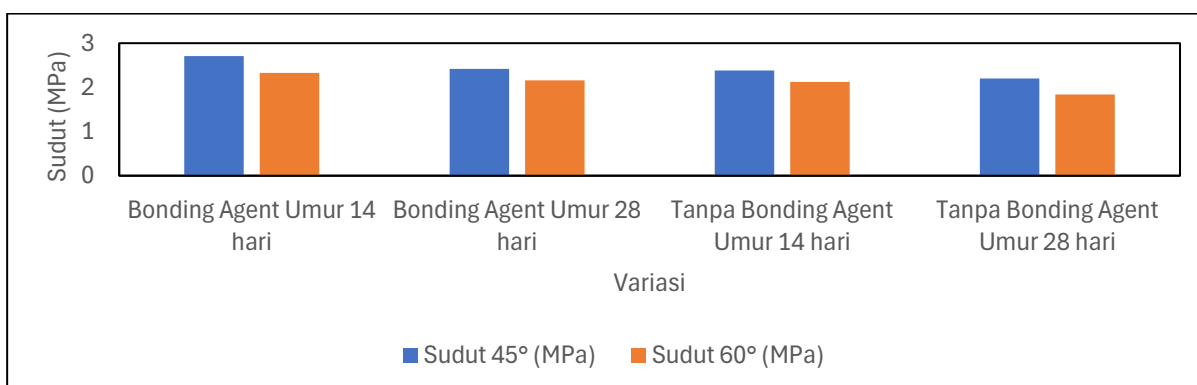
Gambar 6. Pengaruh umur beton lama terhadap kuat lentur

Berdasarkan hasil pengujian, benda uji yang disambung pada umur beton lama 14 hari secara konsisten menghasilkan kapasitas lentur yang lebih tinggi dibandingkan benda uji yang disambung pada umur 28 hari. Pada kelompok yang menggunakan bonding agent, kuat lentur menurun dari 2,71 MPa pada B45-14 menjadi 2,42 MPa pada B45-28. Tren yang sama juga terjadi pada B60-14 dan B60-28 yang mengalami penurunan dari 2,33 MPa menjadi 2,16 MPa. Pada kelompok tanpa bonding agent, penurunan juga terlihat pada NB45-14 terhadap NB45-28 serta NB60-14 terhadap NB60-28.

Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin lama umur beton eksisting sebelum dilakukan penyambungan, semakin rendah kemampuan ikatan yang terbentuk antara beton lama dan beton baru sehingga kapasitas lentur sambungan ikut menurun. Selain umur beton lama, geometri bidang sambungan juga memengaruhi kemampuan balok dalam menahan beban lentur. Perbandingan kuat lentur antara sudut bidang sambungan 45° dan 60° ditampilkan pada Gambar 7.

Berdasarkan hasil pengujian, benda uji dengan sudut bidang sambungan 45° menghasilkan kuat lentur yang lebih tinggi dibandingkan benda uji dengan sudut 60° pada seluruh variasi umur beton dan penggunaan bonding agent. Pada kelompok bonding agent, kuat lentur B45-14 dan B45-28 masing-masing mencapai 2,71 MPa dan 2,42 MPa, sedangkan B60-14 dan B60-28 hanya mencapai 2,33 MPa dan 2,16 MPa. Pola yang sama juga terlihat pada kelompok tanpa bonding agent. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sudut sambungan yang lebih landai memberikan luas bidang kontak yang lebih besar sehingga transfer tegangan antara beton lama dan beton baru berlangsung lebih efektif. Selain itu, luas kontak yang lebih besar meningkatkan mekanisme interlocking yang berkontribusi terhadap peningkatan kapasitas lentur sambungan.

Efektivitas penggunaan bonding agent dievaluasi dengan membandingkan kapasitas lentur benda uji yang menggunakan bonding agent dan yang tidak menggunakan bonding agent pada konfigurasi yang sama. Hasil perhitungan peningkatan kuat lentur akibat penggunaan bonding agent disajikan pada Tabel 5.



Gambar 7. Pengaruh sudut bidang sambungan terhadap kapasitas lentur balok beton

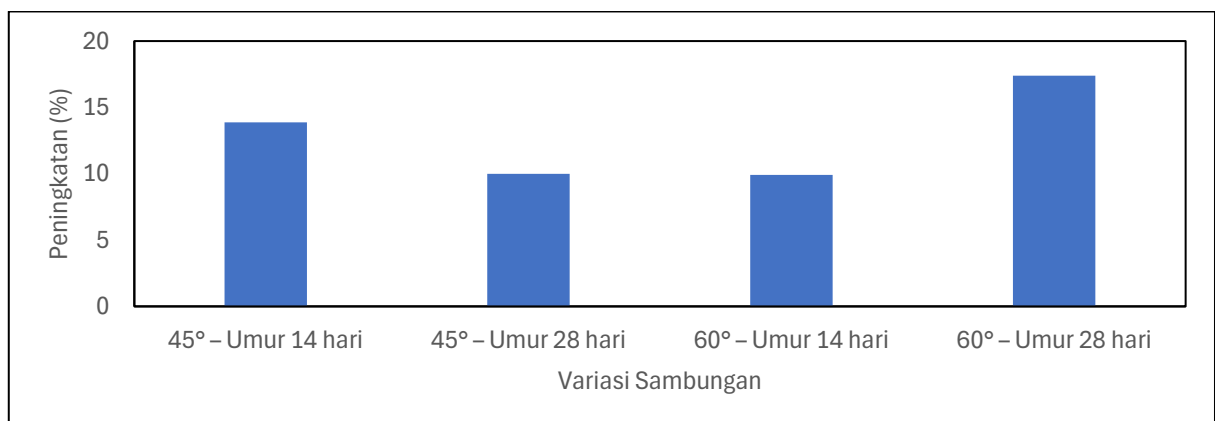
Tabel 5. Peningkatan Kuat Lentur Akibat Penggunaan Bonding Agent

Perbandingan	Tanpa Bonding Agent (MPa)	Dengan Bonding Agent (MPa)	Peningkatan (%)
NB45-14 vs B45-14	2,38	2,71	13,87
NB45-28 vs B45-28	2,20	2,42	10,00
NB60-14 vs B60-14	2,12	2,33	9,91
NB60-28 vs B60-28	1,84	2,16	17,39
Rata-rata	-	-	12,79

Untuk memperjelas besarnya peningkatan kuat lentur akibat penggunaan bonding agent, data pada Tabel 5 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 8.

Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 8, penggunaan bonding agent memberikan peningkatan kapasitas lentur pada seluruh variasi sambungan yang ditinjau. Persentase peningkatan berkisar antara 9,91% hingga 17,39% dengan rata-rata sebesar 12,79%. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa bonding agent mampu memperbaiki kualitas adhesi pada bidang kontak antara beton lama dan beton baru sehingga transfer tegangan selama pembebanan menjadi lebih efektif. Meskipun demikian, kapasitas lentur benda uji yang menggunakan bonding agent masih berada di bawah kapasitas lentur benda uji BS yang tidak memiliki sambungan. Dengan demikian, bonding agent mampu mengurangi penurunan kapasitas lentur akibat adanya sambungan konstruksi, namun belum sepenuhnya mengembalikan perilaku struktur menjadi setara dengan beton monolit.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas lentur sambungan beton dipengaruhi oleh kombinasi umur beton lama, sudut bidang sambungan, dan penggunaan bonding agent. Konfigurasi terbaik diperoleh pada benda uji B45-14 dengan kuat lentur rata-rata sebesar 2,71 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penyambungan pada umur beton yang lebih muda, penggunaan bonding agent, dan penerapan sudut bidang sambungan 45° merupakan kombinasi yang paling efektif untuk mempertahankan kapasitas lentur sambungan beton lama–baru. Temuan ini dapat menjadi dasar pertimbangan teknis dalam pekerjaan pengecoran bertahap, rehabilitasi struktur beton, maupun konstruksi yang memerlukan sambungan beton di lapangan.



Gambar 8. Persentase peningkatan kuat lentur akibat penggunaan bonding agent

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa beton yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi mutu rencana sebesar 20 MPa dengan kuat tekan rata-rata umur 28 hari mencapai 22,34 MPa. Hasil pengujian kuat lentur menunjukkan bahwa umur beton lama saat penyambungan berpengaruh terhadap kapasitas lentur balok beton. Semakin lama umur beton eksisting sebelum dilakukan penyambungan, semakin rendah kapasitas lentur yang dihasilkan akibat menurunnya kualitas ikatan antara beton lama dan beton baru. Selain itu, sudut bidang sambungan juga memberikan

pengaruh yang signifikan, dimana sambungan dengan sudut 45° menghasilkan kapasitas lentur yang lebih tinggi dibandingkan sambungan dengan sudut 60° karena memiliki bidang kontak yang lebih luas sehingga transfer tegangan dapat berlangsung lebih efektif.

Penggunaan bonding agent terbukti mampu meningkatkan kapasitas lentur pada seluruh variasi sambungan yang ditinjau. Peningkatan kuat lentur yang diperoleh berkisar antara 9,91% hingga 17,39% dengan rata-rata sebesar 12,79% dibandingkan sambungan tanpa bonding agent. Kapasitas lentur tertinggi pada benda uji sambungan diperoleh pada kode B45-14 sebesar 2,71 MPa, sedangkan nilai terendah diperoleh pada kode NB60-28 sebesar 1,84 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi penggunaan bonding agent, umur beton lama 14 hari, dan sudut bidang sambungan 45° merupakan konfigurasi yang paling efektif dalam mempertahankan kapasitas lentur sambungan beton lama–baru. Meskipun demikian, seluruh benda uji sambungan masih menunjukkan kapasitas lentur yang lebih rendah dibandingkan balok tanpa sambungan yang memiliki kuat lentur sebesar 3,02 MPa. Dengan demikian, keberadaan sambungan beton tetap menyebabkan penurunan kapasitas lentur, namun penggunaan bonding agent mampu mengurangi penurunan tersebut secara signifikan dan meningkatkan kualitas ikatan pada bidang sambungan.

Daftar Pustaka

- [1] P. Hajek, “Concrete Structures for Sustainability in a Changing World,” *Procedia Engineering*, vol. 171, pp. 207–214, 2017.
- [2] M. Jamal, S. N. Ahmad, B. A. Ampangallo, R. Serang, and R. M. Rachman, *Beton Pracetak (Teknologi, Produksi dan Aplikasi)*. Makassar: TOHAR MEDIA, 2024.
- [3] N. J. Nanulaitta, G. I. Huka, D. I. Pellu, J. Matheus, N. N. Tetelepta, L. S. Loppies, et al., *Biokomposit: Prinsip, Teknologi dan Aplikasi Material Berkelanjutan*. Kamiya Jaya Aquatic, 2026.
- [4] N. N. Haloho and F. Jatnika, “Literature Review: Pengaruh Penggunaan Serat Alami dan Sintetis terhadap Kinerja Beton,” *Jurnal Teknik SILITEK*, vol. 5, no. 2, pp. 1100–1104, 2025.
- [5] S. Fatimah, “Evaluasi Kinerja Beton Mutu Tinggi dengan Penambahan Serat Polypropylene pada Gedung Bertingkat,” *Journal of Multi Technology (J-Multitechno)*, vol. 1, no. 1, pp. 34–43, 2025.
- [6] I. Padang, R. Djamaluddin, H. Parung, and A. Amiruddin, “Kajian Literatur Sistem Sambungan Balok Sloof Pracetak Konstruksi Rumah Sederhana Tahan Gempa,” *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)*, vol. 2, no. 3, 2024.
- [7] A. Z. K. A. Siahaan, F. A. Irhas, and A. V. R. Sihombing, “Evaluasi Kinerja Sambungan Memanjang Perkerasan Komposit Berdasarkan Kuat Geser (Lokasi Studi: Batas Padalarang–Batas Cimahi),” in *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, vol. 16, no. 1, pp. 77–83, 2025.
- [8] W. Damayanthi, K. Karyadi, and M. M. A. Pratama, “Pengaruh Dimensi Penampang dan Rasio Pembesian Lentur terhadap Kapasitas Beban Balok Beton Bertulang Berbasis Gradasi Mutu,” *Bangunan: Teori, Praktek, Penelitian, dan Pengajaran Teknik Bangunan*, vol. 27, no. 2, pp. 1–6, 2022.
- [9] M. I. Wahid, E. Saputra, and M. A. Yachya, “Studi Eksperimental Pengaruh Rasio Tulangan Lentur terhadap Mekanisme Keruntuhan Balok Beton Bertulang,” *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, pp. 685–696, 2025.
- [10] M. W. Ubaidillah and E. Walujodjati, “Eksperimen Uji Lentur Balok Beton dengan Bundel Tulangan,” *Jurnal Konstruksi*, vol. 20, no. 1, pp. 202–213, 2022.
- [11] D. R. Faturrochman, P. B. Susanto, and M. Sulton, “Penambahan Variasi Jarak Baja Tipe Hollow Lingkaran sebagai Perkuatan terhadap Kapasitas Lentur pada Balok Hollow Beton Bertulang,” *Proceedings of Life and Applied Sciences*, vol. 2, 2023.
- [12] E. Darma and S. Nuryati, “Carbon Fiber Reinforced Polymer Sebagai Perkuatan Lentur pada Balok Beton,” *Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 20–28, 2020.
- [13] J. B. Muda, B. Supriyadi, M. Muslikh, and S. Siswosukarto, “Tinjauan Perilaku Dinamik Balok T dengan Perkuatan CFRP Jenis Wrap,” 2020.
- [14] R. Hakiki, “Evaluasi Kinerja Energi Serap Balok Jembatan Komposit Kayu Laminasi-Beton Berlapis CFRP pada Beban Statis,” *Jurnal Jalan Jembatan*, vol. 42, no. 1, 2025.

- [15] D. N. Islami and M. R. F. Putra, “Studi Komparatif Metode Perkuatan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan Tinjauan Literatur, Pengujian Balok, dan Rehabilitasi Pascabencana,” *Journal of Infrastructure and Construction Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 52–58, 2024.
- [16] I. Monalita, H. A. Saifullah, and S. A. Kristiawan, “Kajian Numerik Kinerja Geser Balok Beton Bertulang dengan Perbaikan Menggunakan UPR-Mortar,” *Matriks Teknik Sipil*, vol. 10, no. 1, pp. 24–31, 2022.
- [17] A. E. Susanto, B. Anondho, and A. Sutandi, “Pengaruh Penambahan Mezzanine Baja terhadap Keretakan Balok Beton Bertulang dan Alternatif Perbaikannya,” *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, pp. 1271–1282, 2025.
- [18] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta, Indonesia, 2000.
- [19] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1972:2008 Cara Uji Slump Beton*. Jakarta, Indonesia, 2008.
- [20] T. T. Nguyen, C. I. Goodier, and S. A. Austin, “Factors Affecting the Slump and Strength Development of Geopolymer Concrete,” *Construction and Building Materials*, vol. 261, p. 119945, 2020.
- [21] J. Shen and Q. Xu, “Effect of Elevated Temperatures on Compressive Strength of Concrete,” *Construction and Building Materials*, vol. 229, p. 116846, 2019.
- [22] M. Velay-Lizancos, I. Martinez-Lage, M. Azenha, J. Granja, and P. Vazquez-Burgo, “Concrete with Fine and Coarse Recycled Aggregates: E-Modulus Evolution, Compressive Strength and Non-Destructive Testing at Early Ages,” *Construction and Building Materials*, vol. 193, pp. 323–331, 2018.
- [23] F. Zulkarnain, “Development of K-300 Concrete Mix for Earthquake-Resistant Housing Infrastructure in Indonesia,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 970, p. 012001, 2018.
- [24] ASTM International, *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete*. West Conshohocken, PA, USA, 2018.
- [25] ASTM International, *Annual Book of ASTM Standards Volume 04.02 Concrete and Aggregates*. West Conshohocken, PA, USA, 2019.
- [26] J. Fládr and P. Bílý, “Specimen Size Effect on Compressive and Flexural Strength of High-Strength Fibre-Reinforced Concrete Containing Coarse Aggregate,” *Composites Part B: Engineering*, vol. 138, pp. 77–86, 2018.
- [27] H. B. Raya and N. K. Anggraini, “Pengaruh Bonding Agent Terhadap Kinerja Slant Shear Pada Interface Beton Dengan Variasi Umur Penyambungan Beton,” *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 5, no. 1, pp. 1–12, 2026.