

TUGAS AKHIR

ANALISIS KINERJA *JOINT* BALOK-KOLOM EKSTERIOR *NANOCOMPOSITE POLYMER* DENGAN VARIASI ANGKUR



SIGIT NOOR ARIF
03011282126099

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025

TUGAS AKHIR

ANALISIS KINERJA *JOINT* BALOK-KOLOM EKSTERIOR *NANOCOMPOSITE POLYMER* DENGAN VARIASI ANGKUR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**SIGIT NOOR ARIF
03011282126099**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KINERJA *JOINT* BALOK-KOLOM EKSTERIOR NANOCOMPOSITE POLYMER DENGAN VARIASI ANGKUR

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar
Sarjana Teknik

Oleh:

SIGIT NOOR ARIF
03011282126099

Dosen Pembimbing I,

Palembang, Juli 2025
Diperiksa dan disetujui oleh,
Dosen Pembimbing II,

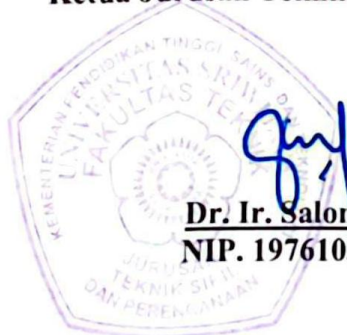


Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001



Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.
NIP. 197705172008012039

Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat, rahmat dan karunia-Nya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penelitian Tugas Akhir ini berjudul “**Analisis Kinerja *Joint* Balok-Kolom Eksterior *Nanocomposite Polymer* dengan Variasi Angkur**”. Pada proses penyelesaian laporan Tugas Akhir ini penulis mendapatkan banyak bantuan dari beberapa pihak. Karena itu penulis menyampaikan terimakasih dan permohonan maaf yang besar kepada semua pihak yang terkait, yaitu :

1. Bapak Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si., selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya dan Dosen Pembimbing I yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penulisan tugas akhir.
4. Ibu Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penelitian program ANSYS.
5. Ibu Rhaptyalyani, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan arahan.
6. Orang tua, kakak, keluarga, serta teman-teman yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis dalam proses penyelesaian penelitian tugas akhir.

Palembang, Juli 2025



Sigit Noor Arif

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ABSTRAK.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
RINGKASAN	xiv
SUMMARY	xv
PERNYATAAN INTREGRITAS	xvi
HALAMAN PERSETUJUAN.....	xvii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	xviii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	xix
 BAB 1 PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	4
 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1. Gempa Bumi.....	5
2.2. <i>Joint</i> Balok-Kolom	7
2.3. Beban Siklik	8
2.4. <i>Nanocomposite Polymer</i>	9
2.5. Baja Tulangan.....	10
2.6. Tulangan Amgkur.....	12
2.7. Kurva Histeresis	14
2.8. Daktilitas.....	15
2.9. <i>Finite Element Analysis</i>	17
2.9.1. Jenis Matriks dalam <i>Finite Element Method</i>	18
2.9.2. Metode Penyelesaian Kasus Non-Linier	20

2.9.3. Persamaan Non-Linier untuk Menyelesaikan Model Numerik	23
2.10. Program ANSYS	24
2.10.1. Tahapan Simulasi pada Program ANSYS.....	25
2.10.2. Elemen pada Program ANSYS	25
2.11. Penelitian Terdahulu.....	27
2.11.1. Penelitian Son, dkk., (2024)	27
2.11.2. Penelitian Sachdeva, dkk., (2021).....	31
2.11.3. Penelitian Zhang, dkk., (2021)	34
 BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	 38
3.1. Umum	38
3.2. Studi Literatur	38
3.3. Pengumpulan Data Sekunder.....	39
3.4. Alur Penelitian	39
3.5. Model Struktur.....	41
3.6. Pemodelan Struktur dengan Program ANSYS.....	45
3.7. Kondisi Batas.....	48
3.8. Input Data pada ANSYS.....	49
3.9. <i>Meshing</i>	49
3.10. <i>Solving</i>	49
3.11. Analisa dan Pembahasan	49
3.12. Jadwal Penelitian	50
 BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	 51
4.1. Detail Model Sambungan Balok-Kolom Eksterior	51
4.2. Pemodelan Struktur pada ANSYS.....	52
4.3. Data Input	58
4.3.1. <i>Material Properties</i> Beton.....	59
4.3.2. <i>Material Properties</i> Baja Tulangan.....	59
4.3.3. Pembahasan.....	60
4.4. <i>Meshing</i> Elemen Struktur	60
4.5. Analisis <i>Output</i> Program ANSYS	61
4.5.1. Analisis <i>Output Normal Concrete</i>	61
4.5.2. Analisis <i>Output Nanocomposite Polymer</i>	70

4.6.	Daktilitas.....	80
4.6.1.	Daktilitas Material <i>Normal Concrete</i>	81
4.6.2.	Daktilitas Material <i>Nanocomposite Polymer</i>	82
4.7.	Kekakuan dan Kekuatan	85
4.7.1.	Kekakuan dan Kekuatan Material <i>Normal Concrete</i>	86
4.7.2.	Kekakuan dan Kekuatan Material <i>Nanocomposite Polymer</i>	89
4.8.	Disipasi Energi Kumulatif	92
4.8.1.	Disipasi Energi Kumulatif Material <i>Normal Concrete</i>	92
4.8.2.	Disipasi Energi Kumulatif Material <i>Nanocomposite Polymer</i>	93
BAB 5	PENUTUP	96
5.1.	Kesimpulan.....	96
5.2.	Saran	99
DAFTAR PUSTAKA		100

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Dampak gempa bumi pada bangunan (Tampubolon, dkk., 2022)	6
Gambar 2.2 Kerusakan pada <i>joint</i> balok-kolom (Tampubolon, dkk., 2022)	6
Gambar 2.3 Jenis-jenis <i>joint</i> balok-kolom (ACI 352R_02, 2010)	7
Gambar 2.4 Konfigurasi <i>joint</i> balok-kolom (ACI 374.1-05, 2019)	8
Gambar 2.5 Kurva hubungan tegangan-regangan baja (Pertiwi, dkk., 2023)	11
Gambar 2.6 Variasi angkur seri HK-JR-0 (Son, dkk., 2024)	13
Gambar 2.7 Variasi angkur seri HB-JR-0 (Son, dkk., 2024)	13
Gambar 2.8 Kurva histeresis variasi angkur (Son, dkk., 2024)	14
Gambar 2.9 <i>Joint</i> balok kolom eksterior dengan variasi HK-JR-0 setelah diberikan beban siklik (Son, dkk., 2024)	15
Gambar 2.10 <i>Joint</i> balok kolom eksterior dengan variasi HB-JR-0 setelah diberikan beban siklik (Son, dkk., 2024)	15
Gambar 2.11 Elemen garis pada satu dimensi (Choiron, dkk., 2014)	17
Gambar 2.12 Bentuk elemen 2 dimensi (Choiron, dkk., 2014)	17
Gambar 2.13 Bentuk elemen 3 dimensi (Choiron, dkk., 2014)	18
Gambar 2.14 <i>Finite motion</i> pada balok 3D (Zienkiewicz dan Taylor, 2000)	19
Gambar 2.15 Newton-Raphson method (Zienkiewicz dan Taylor, 2000)	21
Gambar 2.16 <i>Modified Newton-Raphson method</i> (Zienkiewicz dan Taylor, 2000)	22
Gambar 2.17 <i>Secant method</i> (Zienkiewicz dan Taylor, 2000)	23
Gambar 2.18 Model elemen pada SOLID65 (ANSYS Inc., 2013)	26
Gambar 2.19 Model elemen pada SOLID45 (ANSYS Inc., 2013)	26
Gambar 2.20 Model elemen pada LINK180 (ANSYS Inc., 2013)	27
Gambar 2.21 Desain sambungan balok-kolom eksterior (Son, dkk., 2024)	28
Gambar 2.22 Konfigurasi pengujian pembebanan (Son, dkk., 2024)	28
Gambar 2.23 Rasio perpindahan beban siklik (Son, dkk., 2024) berdasarkan ACI 374. 1-05 (2019)	29
Gambar 2.24 Detail pemodelan sambungan eksterior (Sachdeva, dkk., 2021)	31
Gambar 2.25 Skema uji pembebanan (Sachdeva, dkk., 2021)	31

Gambar 2.26 Rasio perpindahan beban siklik (Sachdeva, dkk., 2021).....	32
Gambar 2.27 Desain sambungan balok-kolom eksterior (Zhang, dkk., 2021)	35
Gambar 2.28 <i>Set up</i> pengujian pembebanan (Zhang, dkk., 2021)	35
Gambar 2.29 Riwayat beban siklik (Zhang, dkk., 2021)	36
Gambar 3.1 Kurva tegangan regangan beton (Septriasyah dkk., 2021) dan (Son, dkk., 2024)	39
Gambar 3.2 Diagram alir (<i>flowchart</i>) metodologi penelitian.....	41
Gambar 3.3 Model struktur <i>joint</i> balok-kolom eksterior (Son, dkk., 2024)	42
Gambar 3.4 (a) & (b) Detail angkur pada sambungan balok-kolom eksterior (Son, dkk., 2024); (c) Detail angkur pada sambungan eksterior berbentuk silang (Shen, dkk., 2020)	43
Gambar 3.5 <i>Set up</i> pembebanan (Son, dkk., 2024).....	44
Gambar 3.6 Riwayat pembebanan pada penelitian (Son, dkk., 2024) berdasarkan ACI 374. 1-05 (2019).....	44
Gambar 3.7 Pemodelan <i>nodes SOLID65</i> sambungan balok-kolom eksterior pada program ANSYS	47
Gambar 3.8 Pemodelan <i>element SOLID65</i> sambungan balok-kolom eksterior pada program ANSYS	47
Gambar 3.9 <i>Boundary condition</i> model sambungan balok-kolom eksterior pada program ANSYS	48
Gambar 4.1 Detail pemodelan sambungan balok-kolom eksterior (Son, dkk., 2024)	52
Gambar 4.2 Pemodelan <i>nodes joint</i> balok-kolom eksterior model HK-JR-F	53
Gambar 4.3 Pemodelan <i>nodes joint</i> balok-kolom eksterior model HB-JR-F.....	53
Gambar 4.4 Pemodelan <i>element SOLID65</i> dan <i>SOLID45</i> model HK-JR-F	54
Gambar 4.5 Pemodelan <i>element SOLID65</i> dan <i>SOLID45</i> model HB-JR-F.....	55
Gambar 4.6 Pemodelan <i>element LINK 180</i> pada model HK-JR-F.....	56
Gambar 4.7 Pemodelan <i>element LINK 180</i> pada model HB-JR-F	56
Gambar 4.8 Pemodelan <i>element LINK 180</i> pada model HK-JR-N	57
Gambar 4.9 Pemodelan <i>element LINK 180</i> pada model HB-JR-N	57
Gambar 4.10 Pemodelan <i>element LINK 180</i> pada model HC-JR-N	58
Gambar 4.11 Siklus pembebebanan siklik pada penelitian (Son, dkk., 2024).....	60

Gambar 4.12 Perbandingan kurva histerestis beton normal model HK-JR-F	62
Gambar 4.13 Perbandingan kurva histerestis beton normal model HB-JR-F	62
Gambar 4.14 Kontur tegangan pada model HK-JR-F	65
Gambar 4.15 Kontur tegangan pada model HB-JR-F	66
Gambar 4.16 Kontur perpindahan pada model HK-JR-F	68
Gambar 4.17 Kontur perpindahan pada model HB-JR-F	69
Gambar 4.18 Kurva histeresis material beton <i>nanocomposite polymer</i>	71
Gambar 4.19 Kontur tegangan pada model HK-JR-N	74
Gambar 4.20 Kontur tegangan pada model HB-JR-N	75
Gambar 4.21 Kontur tegangan pada model HC-JR-N	76
Gambar 4.22 Kontur perpindahan pada model HK-JR-N	78
Gambar 4.23 Kontur perpindahan pada model HB-JR-N	79
Gambar 4.24 Kontur perpindahan pada model HC-JR-N	80
Gambar 4.25 Kurva <i>envelope</i> material <i>normal concrete</i>	82
Gambar 4.26 Kurva <i>envelope</i> material <i>nanocomposite polymer</i>	84
Gambar 4.27 Kurva hubungan kekakuan dan <i>story drift</i> material beton normal..	87
Gambar 4.28 Kurva <i>backbone</i> model HK-JR-F dan HB-JR-F dengan material beton normal	89
Gambar 4.29 Kurva hubungan kekakuan dan <i>story drift</i> material <i>nanocomposite polymer</i>	90
Gambar 4.30 Kurva <i>backbone</i> material <i>nanocomposite polymer</i>	91
Gambar 4.31 Kurva hubungan disipasi energi kumulatif material beton normal	92
Gambar 4.32 Kurva hubungan disipasi energi kumulatif material <i>nanocomposite polymer</i>	94

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Toleransi berat per batang BjTS	12
Tabel 2.2 Toleransi dan ukuran berat per batang BjTP	12
Tabel 3.1 Model untuk verifikasi	43
Tabel 3.2 Model variasi angkur	44
Tabel 3.3 Jadwal Penelitian.....	50
Tabel 4.1 Model jenis angkur pada sambungan balok-kolom eksterior	51
Tabel 4.2 <i>Material properties</i> baja tulangan.....	59
Tabel 4.3 Perbandingan hasil pengujian eksperimental dan analisis ANSYS	63
Tabel 4.4 Besar nilai beban lateral maksimum dan perpindahan yang dihasilkan oleh masing-masing variasi angkur.....	72
Tabel 4.5 Perhitungan nilai daktilitas beton normal berdasarkan analisis ANSYS	81
Tabel 4.6 Perhitungan nilai daktilitas <i>nanocomposite polymer</i> berdasarkan analisis ANSYS.....	84
Tabel 4.7 Degradasi nilai kekakuan struktur model HK-JR-F.....	88
Tabel 4.8 Degradasi nilai kekakuan struktur model HB-JR-F	88
Tabel 4.9 Degradasi nilai kekakuan struktur material <i>nanocomposite polymer</i> pembebanan dorong	90
Tabel 4.10 Degradasi nilai kekakuan struktur material <i>nanocomposite polymer</i> pembebanan tarik	91
Tabel 4.11 Disipasi energi kumulatif material beton normal.....	93
Tabel 4.12 Disipasi energi kumulatif material <i>nanocomposite polymer</i>	94

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Lembar Asistensi Tugas Akhir	103
2. Hasil Seminar Sidang Sarjana/Ujian Tugas Akhir	105
3. Surat Keterangan Selesai Tugas Akhir	107
4. Surat Keterangan Selesai Revisi Tugas Akhir	108

ANALISIS KINERJA *JOINT* BALOK-KOLOM EKSTERIOR *NANOCOMPOSITE POLYMER* DENGAN VARIASI ANGKUR

Sigit Noor Arif¹⁾, Saloma²⁾, Siti Aisyah Nurjannah³⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

E-mail: sigitnoor62@gmail.com

²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

E-mail: salomaunsri@gmail.com

³⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

E-mail: sitiaisyahn@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Indonesia memiliki risiko gempa yang tinggi karena terletak di pertemuan tiga lempeng besar dunia: Pasifik, Eurasia, dan Indo-Australia. Sambungan balok-kolom merupakan elemen struktur yang krusial dan perlu mendapat perhatian khusus. Penggunaan beton *nanocomposite polymer* dapat meningkatkan sifat mekanik seperti kuat tekan, kuat tarik, dan daktilitas, yang penting untuk ketahanan struktur terhadap gempa. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sambungan balok-kolom berbahan *nanocomposite polymer* dengan penambahan tulangan angkur pada area sambungan guna meningkatkan kapasitas struktur. Analisis dilakukan dengan menerapkan beban siklik statis untuk mensimulasikan kondisi gempa, menggunakan program ANSYS dengan pendekatan metode elemen hingga (*finite element method*). Hasil analisis ANSYS mencakup kurva histeresis, *drift ratio* maksimum, kontur tegangan dan perpindahan, daktilitas, kekakuan, kekuatan struktur, serta disipasi energi kumulatif sebagai indikator ketangguhan terhadap beban siklik. Seluruh variasi tergolong dalam kategori *high ductility demand*, dengan variasi HB-JR-N menunjukkan nilai daktilitas terendah, diduga akibat desain angkur yang membatasi redistribusi tegangan dan pembentukan sendi plastis. Meskipun demikian, variasi HB-JR-N mencatat nilai disipasi energi kumulatif tertinggi, yang menunjukkan kemampuannya paling efektif dalam menahan dan meredam gaya dinamis seperti saat gempa bumi. Secara keseluruhan, model HK-JR-N dinilai sebagai variasi angkur paling efisien dalam menahan gaya gempa, karena mampu mencapai kombinasi daktilitas dan disipasi energi yang relatif tinggi dan stabil.

Kata kunci: beban siklik, tulangan angkur, metode elemen hingga, *nanocomposite polymer*

Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

Palembang, Juli 2025
Diperiksa dan disetujui oleh,
Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.
NIP. 197705172008012039

Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

PERFORMANCE ANALYSIS OF NANOCOMPOSITE POLYMER EXTERIOR BEAM-COLUMN JOINT WITH ANCHOR VARIATION

Sigit Noor Arif¹⁾, Saloma²⁾, Siti Aisyah Nurjannah³⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: sigitnoor62@gmail.com

²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: salomaunsri@gmail.com

³⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: sitiaisyahn@ft.unsri.ac.id

Abstract

Indonesia has a high earthquake risk because it is located at the confluence of three major world plates: Pacific, Eurasian and Indo-Australian. Beam-column connection is a crucial structural element and needs special attention. The use of nanocomposite polymer concrete can improve mechanical properties such as compressive strength, tensile strength, and ductility, which are important for structural resistance to earthquakes. This study aims to evaluate the performance of beam-column connections made of nanocomposite polymer with the addition of anchor reinforcement at the connection area to increase the structural capacity. The analysis was conducted by applying static cyclic loads to simulate earthquake conditions, using the ANSYS programme with a finite element method approach. The ANSYS analysis results include hysteresis curves, maximum drift ratio, stress and displacement contours, ductility, stiffness, structural strength, and cumulative energy dissipation as indicators of toughness against cyclic loads. All variations fall into the high ductility demand category, with variation HB-JR-N showing the lowest ductility values, presumably due to the anchor design limiting stress redistribution and plastic joint formation. However, the HB-JR-N variation recorded the highest cumulative energy dissipation values, indicating its ability to most effectively resist and dampen dynamic forces such as during earthquakes. Overall, the HK-JR-N model was rated as the most effective anchor variation.

Keywords: cyclic loads, anchor reinforcement, finite element method, nanocomposite polymer

Dosen Pembimbing I,


Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

Palembang, Juli 2025
Diperiksa dan disetujui oleh,
Dosen Pembimbing II,


Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.
NIP. 197705172008012039

Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,

Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001



RINGKASAN

ANALISIS KINERJA *JOINT* BALOK-KOLOM EKSTERIOR *NANOCOMPOSITE POLYMER* DENGAN VARIASI ANGKUR

Karya Tulis Ilmiah Berupa Tugas Akhir, 26 Juni 2025

Sigit Noor Arif; Dibimbing oleh Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T. dan Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xx + 102 halaman, 70 gambar, 17 tabel, 4 lampiran

Indonesia memiliki risiko gempa yang tinggi karena terletak di pertemuan tiga lempeng besar dunia: Pasifik, Eurasia, dan Indo-Australia. Sambungan balok-kolom merupakan elemen struktur yang krusial dan perlu mendapat perhatian khusus. Penggunaan beton *nanocomposite polymer* dapat meningkatkan sifat mekanik seperti kuat tekan, kuat tarik, dan daktilitas, yang penting untuk ketahanan struktur terhadap gempa. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sambungan balok-kolom berbahan *nanocomposite polymer* dengan penambahan tulangan angkur pada area sambungan guna meningkatkan kapasitas struktur. Analisis dilakukan dengan menerapkan beban siklik statis untuk mensimulasikan kondisi gempa, menggunakan program ANSYS dengan pendekatan metode elemen hingga (*finite element method*). Hasil analisis ANSYS mencakup kurva histeresis, *drift ratio* maksimum, kontur tegangan dan perpindahan, daktilitas, kekakuan, kekuatan struktur, serta disipasi energi kumulatif sebagai indikator ketangguhan terhadap beban siklik. Seluruh variasi tergolong dalam kategori *high ductility demand*, dengan variasi HB-JR-N menunjukkan nilai daktilitas terendah, diduga akibat desain angkur yang membatasi redistribusi tegangan dan pembentukan sendi plastis. Meskipun demikian, variasi HB-JR-N mencatat nilai disipasi energi kumulatif tertinggi, yang menunjukkan kemampuannya paling efektif dalam menahan dan meredam gaya dinamis seperti saat gempa bumi. Secara keseluruhan, model HK-JR-N dinilai sebagai variasi angkur paling efisien dalam menahan gaya gempa, karena mampu mencapai kombinasi daktilitas dan disipasi energi yang relatif tinggi dan stabil.

Kata kunci: beban siklik, tulangan angkur, metode elemen hingga, *nanocomposite polymer*

SUMMARY

PERFORMANCE ANALYSIS OF NANOCOMPOSITE POLYMER EXTERIOR BEAM-COLUMN JOINT WITH ANCHOR VARIATION

Scientific papers in form of Final Projects, June 26th, 2025

Sigit Noor Arif; Guide by Advisor Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T. dan
Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.

Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sriwijaya University

xx + 102 pages, 70 images, 17 tables, 4 attachments

Indonesia has a high earthquake risk because it is located at the confluence of three major world plates: Pacific, Eurasian and Indo-Australian. Beam-column connection is a crucial structural element and needs special attention. The use of nanocomposite polymer concrete can improve mechanical properties such as compressive strength, tensile strength, and ductility, which are important for structural resistance to earthquakes. This study aims to evaluate the performance of beam-column connections made of nanocomposite polymer with the addition of anchor reinforcement at the connection area to increase the structural capacity. The analysis was conducted by applying static cyclic loads to simulate earthquake conditions, using the ANSYS programme with a finite element method approach. The ANSYS analysis results include hysteresis curves, maximum drift ratio, stress and displacement contours, ductility, stiffness, structural strength, and cumulative energy dissipation as indicators of toughness against cyclic loads. All variations fall into the high ductility demand category, with variation HB-JR-N showing the lowest ductility values, presumably due to the anchor design limiting stress redistribution and plastic joint formation. However, the HB-JR-N variation recorded the highest cumulative energy dissipation values, indicating its ability to most effectively resist and dampen dynamic forces such as during earthquakes. Overall, the HK-JR-N model was rated as the most effective anchor variation.

Keywords: cyclic loads, anchor reinforcement, finite element method, nanocomposite polymer

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sigit Noor Arif

NIM : 03011282126099

Judul : Analisis Kinerja *Joint* Balok-Kolom Eksterior *Nanocomposite Polymer* dengan Variasi Angkur

Menyatakan bahwa Tugas Akhir saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Juli 2025



Sigit Noor Arif
NIM. 03011282126099

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis Kinerja *Joint* Balok-Kolom Eksterior *Nanocomposite Polymer* dengan Variasi Angkur” yang disusun oleh Sigit Noor Arif, 03011282126099 telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 26 Juni 2025.

Palembang, Juli 2025

Tim Penguji Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir

Dosen Pembimbing:

1. Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001
2. Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.
NIP. 197705172008012039

()
()

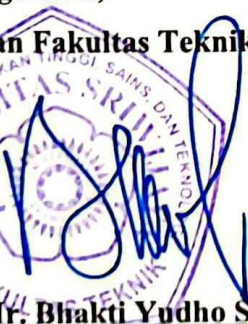
Dosen Penguji:

3. Dr. Ir. K. M. Aminuddin, S.T., M.T.
NIP. 197203141999031006



Mengetahui,

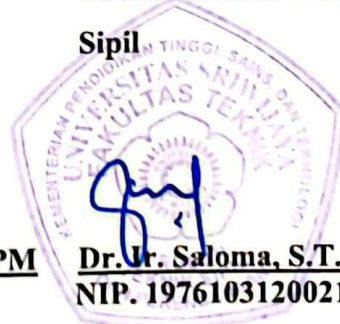
Dekan Fakultas Teknik




Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM
NIP. 197502112003121002

Ketua Jurusan Teknik

Sipil

Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sigit Noor Arif

NIM : 03011282126099

Judul : Analisis Kinerja *Joint* Balok-Kolom Eksterior *Nanocomposite Polymer*
dengan Variasi Angkur

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu satu tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju menempatkan pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian, pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Juli 2025



Sigit Noor Arif
NIM. 03011282126099

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama Lengkap : Sigit Noor Arif
Jenis Kelamin : Laki-laki
E-mail : sigitnoor62@gmail.com

Riwayat Pendidikan:

Nama Sekolah	Fakultas	Jurusan	Pendidikan	Masa
SD Negeri 35 Percontohan Lahat	-	-	SD	2009 -2015
SMP Negeri 5 Lahat	-	-	SMP	2015 -2018
SMA Unggul Negeri 4 Lahat	-	IPA	SMA	2018 -2021
Universitas Sriwijaya	Teknik	Teknik Sipil	S1	2021-2025

Riwayat Organisasi:

Nama Organisasi	Jabatan	Periode
OSIS SMP Negeri 5 Lahat	Ketua	2016-2017
Majelis Permusyawaratan Kelas SMA Unggul Negeri 4 Lahat	Ketua	2019-2020

Demikian Riwayat hidup penulis yang dibuat dengan sebenarnya.

Dengan Hormat,



(Sigit Noor Arif)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dengan terletaknya di pertemuan tiga lempeng besar dunia yaitu Samudera Pasifik, Eurasia, dan Indo-Australia, Indonesia merupakan negara yang memiliki tingkat resiko gempa yang tinggi. Definisi dari gempa bumi itu sendiri, suatu peristiwa getaran yang terjadi pada bumi akibat pelepasan energi secara mendadak di dalamnya, yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Energi yang memicu gempa bumi ini berasal dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Kemudian energi tersebut dipancarkan ke segala arah dalam bentuk gelombang gempa, sehingga dampaknya dapat dirasakan hingga ke permukaan bumi. Hal ini tentu berpengaruh terhadap kondisi bangunan-bangunan yang masuk ke area terkenanya dampak dari gempa bumi tersebut. Maka dari itu perlunya perancangan bangunan anti gempa.

Dalam bidang konstruksi, komponen struktural suatu bangunan harus dirancang dengan cermat agar mampu bertahan terhadap guncangan gempa yang besar. Dalam perencanaan struktur beton bertulang, sambungan antara balok dan kolom merupakan aspek yang tidak boleh diabaikan. Desain pada sambungan harus dilakukan dengan teliti agar dapat mendukung beban yang dihasilkan oleh gempa. Selain itu, perlu juga mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti material yang digunakan, distribusi beban, dan bentuk bangunan itu sendiri. Misalnya, penggunaan material yang fleksibel dapat membantu menyerap energi gempa, sementara bentuk yang simetris dan seimbang dapat mengurangi titik-titik lemah pada struktur. Pendekatan yang holistik dalam perancangan dan pemilihan material akan memastikan bahwa bangunan tidak hanya aman selama gempa, tetapi juga tahan lama dan dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi ekstrem.

Sambungan antara balok dan kolom memiliki peran krusial dalam struktur bangunan. Dalam mendesain elemen sambungan ini, penting untuk memenuhi kriteria kekuatan dan daktilitas guna mencegah terjadinya keruntuhan mendadak yang disebabkan oleh gaya geser. Untuk mengurangi risiko keruntuhan akibat gaya geser, tulangan sengkang biasanya ditambahkan. Namun, pemasangan tulangan

senggang yang terlalu rapat di area sambungan dapat menyulitkan proses pengecoran dan pemadatan beton, berpotensi menyebabkan segregasi material. Pemadatan beton sangat penting untuk mengurangi adanya rongga udara dalam bekisting sambungan. Jika pemadatan tidak dilakukan dengan baik, hal ini bisa mengakibatkan deformasi yang merugikan dan membuat sambungan lebih rentan terhadap guncangan gempa. Oleh karena itu, perlu dilakukan teknik pengecoran yang tepat, termasuk pemilihan ukuran dan jarak tulangan senggang yang sesuai, serta metode pemadatan yang efektif, agar sambungan balok-kolom dapat berfungsi optimal dan meningkatkan keselamatan struktural bangunan dalam menghadapi risiko gempa. Pengawasan selama proses konstruksi juga sangat diperlukan untuk memastikan bahwa semua langkah tersebut diikuti dengan baik.

Di era modern ini, kita telah menyaksikan banyak kemajuan signifikan dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi, yang berdampak besar pada pencapaian konstruksi yang kuat, kokoh, dan berkualitas tinggi. Ini terutama terlihat dalam pembangunan gedung dan infrastruktur, di mana salah satu inovasi yang menonjol adalah nanoteknologi. Nanoteknologi kini menjadi fokus utama para ilmuwan di seluruh dunia, yang melakukan berbagai penelitian dan rekayasa untuk menyesuaikan material, mengubah ukuran, mengatur komposisi kimia, serta mengendalikan interaksi antarpartikel.

Penggunaan nanoteknologi dalam konstruksi tidak hanya meningkatkan sifat mekanik material, tetapi juga memberikan manfaat seperti peningkatan ketahanan terhadap korosi, peningkatan efisiensi energi, dan pengurangan bobot struktur. Misalnya, penambahan nanopartikel dalam campuran beton dapat meningkatkan kekuatan dan daya tahan, serta memperpendek waktu *curing*. Dengan terus berkembangnya penelitian di bidang ini, potensi nanoteknologi dalam konstruksi semakin luas, mencakup aplikasi dalam material yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Inovasi ini memungkinkan para insinyur dan arsitek untuk merancang bangunan yang lebih efisien dan responsif terhadap tantangan lingkungan. Seiring berjalannya waktu, integrasi nanoteknologi dalam konstruksi diperkirakan akan menjadi salah satu pilar utama dalam menciptakan infrastruktur yang lebih cerdas dan berkelanjutan.

Nanocomposite Polymer merupakan kategori baru material komposit yang terdiri dari nanopartikel anorganik yang terdispersi dalam matriks polimer organik, dengan tujuan untuk meningkatkan performa dan sifat-sifatnya. Dalam komposit ini, terdapat dua elemen utama: polimer dan nano-pengisi. Dengan menambahkan nano-pengisi ke dalam matriks polimer, kita dapat memadukan keunggulan dari kedua material tersebut. Sifat-sifat unggul yang dimiliki oleh *Nanocomposite Polymer* mencakup efisiensi magnetik, kemampuan listrik, dan ketahanan terhadap penetrasi. Keuntungan utama dari komposit ini meliputi peningkatan kekakuan, ketahanan yang lebih baik terhadap api, stabilitas termal dan dimensi yang lebih tinggi, sifat optik yang memuaskan, serta efek penghalang yang lebih efektif.

Seiring kemajuan teknologi, evaluasi terhadap kinerja struktur akibat beban siklik kini tidak lagi terbatas pada pengujian eksperimental di laboratorium, melainkan dapat dilakukan secara virtual menggunakan program simulasi seperti ANSYS. ANSYS merupakan aplikasi berbasis metode elemen hingga yang banyak digunakan dalam analisis dan perancangan produk teknik, baik di bidang mekanik maupun struktur sipil. Dalam proses analisisnya, struktur dimodelkan dengan membagi komponen menjadi elemen-elemen kecil yang saling terhubung melalui titik-titik simpul (*nodes*). Simulasi ini menghasilkan pendekatan berbasis analisis numerik yang mampu menggambarkan respons struktur terhadap beban secara lebih efisien dan sistematis.

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap kinerja *joint* balok-kolom eksterior dari penelitian Son, dkk., (2024) yang nantinya dimodelkan menggunakan program ANSYS. Kemudian untuk variasi menggunakan 2 variasi angkur yaitu HK JR-0 dan HB JR-0. Hasil analisis yang akan dibandingkan yaitu kurva histeresis dari masing-masing kinerja sambungan balok-kolom eksterior di bawah beban siklik.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas pada penelitian pengaruh penambahan variasi angkur di zona sambungan terhadap kinerja sambungan balok-kolom eksterior adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana metode analisis kinerja *joint* balok-kolom eksterior yang diuji dengan variasi angkur menggunakan material *Nanocomposite Polymer*?

2. Bagaimana hasil analisis kinerja *joint* balok-kolom eksterior beton normal akibat beban siklik yang dianalisis menggunakan program ANSYS?
3. Bagaimana hasil analisis kinerja *joint* balok-kolom eksterior yang diuji dengan variasi angkur menggunakan material *Nanocomposite Polymer*?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian pengaruh penambahan di zona *joint* terhadap kinerja sambungan balok-kolom eksterior adalah sebagai berikut:

1. Memahami metode analisis kinerja *joint* balok-kolom eksterior yang diuji dengan variasi angkur menggunakan material *Nanocomposite Polymer* pada program ANSYS.
2. Membandingkan serta memverifikasi kinerja elemen struktur sambungan balok-kolom eksterior dari beton normal antara hasil pengujian eksperimental oleh Son, dkk. (2024) dengan hasil analisis numerik menggunakan program ANSYS.
3. Menganalisis dan membandingkan kinerja *joint* balok-kolom eksterior yang diuji dengan variasi angkur menggunakan material *Nanocomposite Polymer*.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian studi numerik pengaruh penambahan variasi angkur di zona *joint* terhadap kinerja sambungan balok-kolom eksterior dibatasi pada:

1. Peraturan yang digunakan mengacu pada ACI 318-22 (2022) dan ACI 374. 1-05 (2019 *reapproved*)
2. Pemodelan jenis *solid* dan *link* yang digunakan untuk analisis menggunakan program ANSYS. Pemodelan elemen struktur dilakukan secara aktual dan dianalisis perilakunya dengan metode elemen hingga (*finite element method*).
3. Data sekunder diperoleh dari hasil penelitian terdahulu secara eksperimental oleh Son, dkk (2024) mengenai pengaruh bentuk variasi angkur terhadap perilaku seismik pada sambungan balok-kolom eksterior.
4. Data properti material *Nanocomposite Polymer* didapatkan dari penelitian terdahulu oleh Septriasyah, dkk. (2021)

DAFTAR PUSTAKA

- ACI-ASCE Committee 352. (2010). *Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures*.
- ACI Committee 318. (2022). *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*.
- ACI Committee 374.1. (2019). *Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary*.
- ACI Committee 437. (2019). *Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings*.
- Ansys Inc. (2013). ANSYS Mechanical APDL Element Reference. *Knowledge Creation Diffusion Utilization*, 15317(October), 1–1416.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). Baja Tulangan Beton. *Sni 2052-2017*, 13.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *Sni 2847-2019*, 8, 720.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung. *Sni 1726-2019*.
- Badshah, M., Badshah, S., & Jan, S. (2020). Comparison of computational fluid dynamics and fluid structure interaction models for the performance prediction of tidal current turbines. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 5(2), 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2019.10.001>
- Choiron, M. A. (2014). *Metode Elemen Hingga*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Cook, R. D., Malkus, D. S., Plesha, M. E., & Witt, R. J. (2001). Concepts and Applications of Finite Element Analysis, 4th Edition. *United States of America: Wiley*.
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*.

- Jagota, V., Sethi, A. P. S., & Kumar, K. (2013). Finite element method: An Overview. *Walailak Journal of Science and Technology*, 10(1), 1–8.
- Khan, et al. (2023). Design, Synthesis, Functionalization, Properties, and Applications Micro and Nano Technologies. 7 - *Polymer Nanocomposites: An Overview* pages 167-184.
- Pekelnicky, R., & Poland, C. (2012). ASCE 41-13: Seismic Evaluation and Retrofit Rehabilitation of Existing Buildings. *SEAOC 2012 Convention Proceedings*, 1–12.
- Pertiwi, D., Susanti, E., Propika, J., Istiono, H., Komara, I., & Septiarsilia, Y. (2023). *Struktur Baja SNI 1729-2020 Perilaku, Analisis, dan Desain Struktur Baja*. Penerbit Lakeisha.
- Sachdeva, P., Roy, D., & Kwatra, N. (2021). *Behaviour of Steel Fibers Reinforced Exterior Beam-Column Joint Using Headed Bars Under Reverse Cyclic Loading*.
- Septriansyah, V., Saggaff, A., & Saloma. (2021). Characteristics of *Nanocomposite Polymer* with Temperature Variation and Heating Time by Using Simple Mixing Method. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 8(78), 651–661. <https://doi.org/10.19101/IJATEE.2021.874037>
- Shen, X., Li, B., Chen, Y. -T., & Tizani, W. (2020). *Seismic Performance of Reinforced Concrete Interior Beam-Column Joints with Novel Reinforcement Detail*.
- Son, D. -H., Bae, B. I., Lee, J., & Choi, C. -S. (2024). *Shear Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete Exterior Beam-Column Joints with Various Anchorage Details Under Cyclic Loading*.
- Tampubulon, S., P., Sarasantika, I., P., E., & Suarjana, I., W., G. (2022). *Analysis of Building Structure Damage and Disaster Management Due to Earthquake, Tsunami, and Liquefaction in Palu*.

- Wang, B., Huo, G., Sun, Y., & Zheng, S. (2019). Hysteretic Behavior of Steel Reinforced Concrete Columns Based on Damage Analysis. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/app9040687>
- Wu, H., Zhuang, X., Zhang, W., & Zhao, Z. (2022). Anisotropic ductile fracture: Experiments, modeling, and numerical simulations. *Journal of Materials Research and Technology*, 20, 833–856. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.07.128>
- Zhang, J., Pei, Z., & Zhang, X. (2021). *Experimental Study of HSS-Reinforced Exterior Beam–Column Joints with Different Enhancement Details*.
- Zienkiewicz, O. C., & Taylor, R. L. (2000). The Finite Element Method. Fifth Edition. *Bautechnik*, 79(2), 122–123. [http://files/2223/Zienkiewicz, Taylor_2002.pdf](http://files/2223/Zienkiewicz,Taylor_2002.pdf)