

Perbandingan Kinerja dan Harga Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda Gedung 12 Lantai

M. Fathin Ramadhan¹⁾, Nurul Rochmah²⁾, Bantot Sutriyono³⁾

Program Studi Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya^{1,2,3)}
fathinramadhan5118@gmail.com¹

ABSTRAK

Indonesia memiliki populasi sebesar 286,6 juta jiwa, menjadikannya negara terpadat ke-4 di dunia, yang menciptakan tantangan dalam memenuhi kebutuhan ruang, terutama di kawasan perkotaan. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini adalah pembangunan gedung bertingkat guna menyediakan hunian atau akomodasi, namun struktur tersebut memerlukan perhatian khusus terhadap pengaruh beban gempa untuk memastikan kestabilan dan keamanan bangunan. Metode seperti *pushover analysis* sering digunakan untuk menganalisis kinerja struktur terhadap beban lateral atau gempa. Selain itu, pemodelan menggunakan perangkat lunak seperti *Autodesk Revit* memungkinkan perhitungan volume material yang lebih akurat, sehingga biaya konstruksi dapat direncanakan secara efisien. Efisiensi biaya menjadi salah satu faktor utama yang harus diperhatikan, selain aspek ketahanan gempa. Penelitian ini bertujuan membandingkan level kinerja struktur serta biaya antara Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) 12 lantai dan struktur dengan dinding geser (Sistem Ganda) 12 lantai. Berdasarkan analisis *pushover*, kedua sistem menunjukkan kinerja pada kategori *Immediate Occupancy* (IO), namun hasil perbandingan harga dan volume material menunjukkan bahwa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) memiliki biaya yang lebih tinggi sebesar 25,43% dibandingkan Sistem Ganda.

Kata Kunci

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus; Sistem Ganda; Analisis *Pushover*; Efisiensi Biaya

Indonesia has a population of 286.6 million, making it the 4th most populous country in the world, which creates challenges in meeting space requirements, especially in urban areas. One solution to this problem is the construction of high-rise buildings to provide shelter or accommodation, but such structures require special attention to the effects of earthquake loads to ensure building stability and safety. Methods such as pushover analysis are often used to analyze the performance of structures against lateral or earthquake loads. In addition, modeling using software such as Autodesk Revit allows for more accurate calculation of material volumes, so that construction costs can be planned efficiently. Cost efficiency is one of the main factors that must be considered, in addition to the earthquake resistance aspect. This study aims to compare the level of structural performance and cost between a 12-story Special Moment Resisting Frame System (SMRFS) and a 12-story structure with shear walls (Dual System). Based on the pushover analysis, both systems showed performance in the Immediate Occupancy (IO) category, but the results of the price and volume comparison of materials showed that the Special Moment Resisting Frame System (SMRFS) had a higher cost of 25.43% than the Dual System.

Keywords

Special Moment Resisting Frame System; Dual System; Pushover analysis; Cost-Efficiency

PENDAHULUAN

Berdasarkan (Badan Pusat Statistik, 2024), negara Indonesia mempunyai populasi 286,6 Juta Jiwa sehingga membuat negara Indonesia menduduki negara terpadat ke 4 di dunia. Seiring pertumbuhan penduduk di Indonesia dapat menyebabkan masalah pada kebutuhan akan ruang (Listiko Wijaya & Rochmah, 2024). Pertumbuhan populasi dan kepadatan di daerah perkotaan mengakibatkan meningkatnya kebutuhan lahan untuk mendukung berbagai aktivitas, termasuk perumahan, perdagangan, layanan, dan industri (Sumastono, *et., al.*, 2023).

Solusi dari permasalahan tersebut adalah membangun gedung bertingkat sebagai upaya memenuhi kebutuhan hunian atau akomodasi di kawasan perkotaan. Bangunan bertingkat memiliki potensi menerima beban lateral yang lebih signifikan dibandingkan bangunan rendah. Hal ini disebabkan oleh massa yang lebih besar dan kekakuan struktur yang tinggi, sehingga desain struktur bangunan bertingkat memerlukan perhatian khusus terhadap pengaruh beban lateral untuk memastikan kestabilan dan keamanan bangunan. Oleh sebab itu struktur bangunan gedung dan non gedung dalam setiap perencanaan dan pembangunan haruslah tahan gempa (Sumastono, *et., al.*, 2023)

Salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis kinerja struktur terhadap beban lateral atau gempa adalah *pushover analysis*. Menurut (Anam, *et., al.*, 2020), *Pushover analysis* merupakan analisis statik nonlinier yang mensimulasikan pengaruh gempa rencana pada struktur bangunan dalam bentuk beban statik lateral. Beban ini diberikan secara bertahap dengan intensitas yang meningkat hingga mencapai kondisi di mana pelelehan (sendi plastis) pertama muncul dalam struktur. Selanjutnya, beban terus ditingkatkan untuk mengevaluasi perilaku struktur dalam fase pasca-elastik hingga struktur mencapai batas deformasi atau kondisi kritisnya. Metode ini memungkinkan evaluasi perilaku struktur dengan cara memberikan beban lateral yang bertahap hingga mencapai kondisi keruntuhan, sehingga memberikan gambaran tentang kapasitas struktur dan distribusi kerusakan yang mungkin terjadi.

Untuk melakukan analisis Pushover, digunakan *software* ETABS dengan menggunakan pedoman yang dapat digunakan dalam melakukan *pushover analysis* telah dikembangkan oleh FEMA, seperti FEMA 315 (*Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*), yang menyediakan panduan praktis untuk mengevaluasi kinerja bangunan eksisting terhadap gempa. Selain itu, FEMA 440 (*Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*) menyempurnakan metode ini dengan menyediakan pendekatan yang lebih akurat dalam mengevaluasi respons non linier struktur. Pedoman-pedoman ini menjadi acuan penting dalam analisis pushover, terutama dalam menilai tingkat kinerja bangunan dan merencanakan perkuatan yang sesuai untuk meningkatkan ketahanan terhadap gempa.

Berdasarkan (FEMA 356, 2000) dan (FEMA 440, 2005) pengertian dari setiap tingkat level kinerja struktur antara lain:

- *Immediate Occupancy (IO)*

Pada bangunan yang memiliki level kinerja *Immediate Occupancy (IO)*, ketika terjadi gempa maka bangunan akan mengalami kerusakan minimal pada struktur sehingga setelah terjadi gempa pada bangunan, akan tetap aman untuk dihuni.

- *Life Safety (LS)*

Pada bangunan yang memiliki level kinerja *Life Safety (LS)*, ketika terjadi gempa maka bangunan akan mengalami kerusakan pada struktur seperti retakan dan deformasi pada struktur, tetapi setelah terjadi gempa pada bangunan, akan tetap mampu melindungi penghuni bangunan dari bahaya gempa.

- *Collapse Prevention (CP)*

Pada bangunan yang memiliki level kinerja *Collapse Prevention (CP)*, ketika terjadi gempa maka bangunan akan mengalami kerusakan pada struktur dan hamper mencapai batas keruntuhan, tetapi setelah terjadi gempa pada bangunan, bangunan akan tetap berdiri sehingga penghuni yang ada pada bangunan mempunyai waktu agar dapat menyelamatkan diri.

Selain memastikan bahwa bangunan mampu bertahan terhadap gempa, analisis ini juga memberikan wawasan penting untuk merancang bangunan yang efisien dari segi biaya. Dengan mengetahui titik-titik kritis dan perilaku struktur di bawah beban ekstrem, perencana dapat mengoptimalkan pemilihan material dan desain elemen struktur untuk mengurangi kebutuhan material berlebih tanpa mengorbankan keamanan. Hal ini memungkinkan tercapainya keseimbangan antara ketahanan terhadap gempa dan efisiensi biaya, yang sangat penting dalam proyek pembangunan gedung bertingkat tinggi, terutama di wilayah rawan gempa.

Efisiensi biaya dalam pembangunan gedung bertingkat tinggi menjadi salah satu faktor utama yang harus diperhatikan selain aspek ketahanan gempa. Dengan mengoptimalkan desain struktur, penggunaan material seperti beton dan tulangan dapat diminimalkan tanpa mengurangi kinerja strukturalnya. Hal ini dapat dicapai melalui analisis yang tepat, seperti *pushover analysis*, yang membantu mengidentifikasi elemen struktur yang paling kritis sehingga perkuatan dapat difokuskan pada bagian tersebut saja. Selain itu, pemodelan menggunakan perangkat lunak seperti Autodesk Revit memungkinkan perhitungan volume material yang lebih akurat, sehingga biaya konstruksi dapat direncanakan secara efisien. Kombinasi antara analisis teknis dan pemodelan material ini memungkinkan tercapainya desain bangunan yang tidak hanya tahan gempa tetapi juga hemat biaya.

Dengan latar belakang yang telah disampaikan, maka tujuan penelitian ini adalah membandingkan level kinerja struktur serta biaya yang ada pada struktur

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) 12 lantai dan struktur dengan dinding geser (Sistem Ganda) 12 lantai.

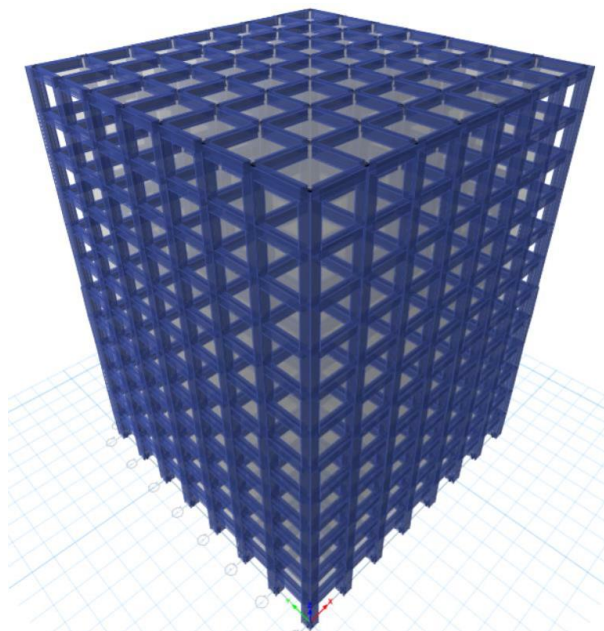
METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, digunakan bantuan *software* ETABS untuk menganalisis struktur dan level kinerja, dan *software Autodesk Revit* untuk menghitung volume dan biaya. Volume yang dihasilkan dari pemodelan *software Revit* kemudian dikalikan dengan harga beton dan besi tulangan yang ada pada AHSP kota Palu tahun 2023.

Pada penelitian ini menggunakan peraturan dalam menganalisa sistem struktur, diantaranya yaitu: SNI 2847-2019 untuk perencanaan struktur dengan sistem beton bertulang, SNI 1727-2020 untuk perhitungan terhadap beban gravitasi yang digunakan, FEMA 440-2005 untuk menganalisis level kinerja pada struktur. Terdapat 2 (dua) jenis pemodelan bangunan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

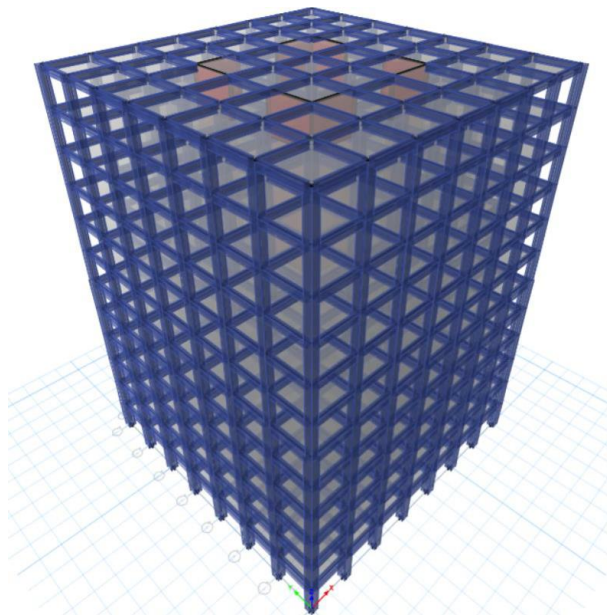
- Permodelah SRPMK 12 : Gedung 12 Lantai dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
- Permodelah DS 12 : Gedung 12 Lantai dengan Sistem Ganda dengan penempatan dinding geser pada tengah bangunan.

Bentuk pemodelan SRPMK 12 dan DS 12 yang telah dimodelkan pada *software* ETABS dapat dilihat pada Gambar 1, dan Gambar 2.



Gambar 1. Pemodelan Elemen Struktur Gedung SRPMK 12

Sumber: Kajian Penulis, 2024



Gambar 2. Pemodelan Elemen Struktur Gedung DS 12

Sumber: Kajian Penulis, 2024

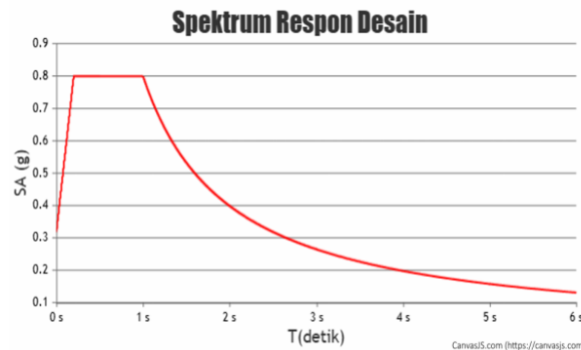
Deskripsi bangunan yang digunakan pada penelitian ini dijelaskan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Kriteria Bangunan

Kriteria	Deskripsi
Tipe Bangunan	Apartemen
Lokasi Bangunan	Palu
Data Gempa	RS Palu – Tanah Lunak
Jumlah Lantai	12 Lantai
Tinggi Bangunan	48 meter
Panjang Bangunan	35 meter
Lebar Bangunan	35 meter
Struktur Bangunan	Beton
Mutu Beton f'_c	30 MPa
Mutu Baja Tulangan f_y	400 MPa

Sumber: Kajian Penulis, 2024

Metode analisis gempa menggunakan analisis dinamis respons spektrum pada penelitian ini, menggunakan grafik spektrum respon desain yang ditunjukkan dengan Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Grafik Respon Spektrum Tanah Lunak Kota Palu

Sumber: RSA Cipta Karya, 2024

Dalam menganalisis Pushover, memerlukan *drift ratio* yang digunakan dalam mencari level kinerja. *Drift ratio* dianalisis digunakan *software* ETABS dengan pedoman peraturan FEMA 440 tahun 2005, ETABS akan otomatis mengeluarkan *target displacement* (D_t) dan dalam menghitung *drift ratio* dapat menggunakan rumus, Total Drift = $\frac{D_t}{H}$

Perbandingan volume dan biaya struktur yang digunakan adalah perbandingan dari beton dan baja tulangan yang digunakan pada elemen struktur. Volume didapatkan dari hasil pemodelan bangunan pada *software* Autodesk Revit

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan dimensi elemen struktur

Berdasarkan hasil perencanaan dimensi elemen penampang struktur seperti balok, kolom, dan dinding geser atau yang dihitung berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 9, pasal 10, dan pasal 11, disajikan dalam Tabel 3. dan Tabel 4.

Tabel 2. Dimensi Struktur SRPMK 12

Elemen Struktur	Penempatan	Lebar (b)	Tinggi (h)
Balok	Lantai 1-6	70 cm	95 cm
	Lantai 7-12	60 cm	85 cm
Kolom	Lantai 1-6	115 cm	115 cm
	Lantai 7-12	95 cm	95 cm

Sumber: Kajian Penulis, 2024

Tabel 3. Dimensi Struktur DS 12

Elemen Struktur	Penempatan	Lebar (b)	Tinggi (h)
Balok	Lantai 1-6	60 cm	80 cm
	Lantai 7-12	45 cm	65 cm
Kolom	Lantai 1-6	95 cm	95 cm
	Lantai 7-12	75 cm	75 cm
Dinding Geser	Lt 1-12	400 cm	40 cm

Sumber: Kajian Penulis, 2024

Penulangan elemen struktur

Software ETABS dapat mengeluarkan luasan *as ratio* terhadap kebutuhan besi/baja tulangan yang dibutuhkan pada suatu elemen struktur. Kebutuhan tulangan pada elemen struktur dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Penulangan Balok SRPMK 12

Nama Balok	Perletakan	Tul. Atas	Tul. Bawah	Sengkang
Balok 700 × 950	Tumpuan	8D25	6D25	D16-50
	Lapangan	6D25	8D25	D16-80
Balok 600 × 850	Tumpuan	6D25	5D25	D14-50
	Lapangan	5D25	6D25	D14-100

Sumber: Kajian Penulis, 2024

Tabel 5. Penulangan Balok DS 12

Nama Balok	Perletakan	Tul. Atas	Tul. Bawah	Sengkang
Balok 600 × 800	Tumpuan	7D25	4D25	D14-50
	Lapangan	4D25	7D25	D14-80
Balok 450 × 650	Tumpuan	6D25	6D25	D14-50
	Lapangan	4D25	6D25	D14-100

Sumber: Kajian Penulis, 2024

Tabel 6. Penulangan Kolom SRPMK 12

Nama Balok	Perletakan	Tul. Lentur	Tul. Geser
Kolom 1150 × 1150	Tumpuan	24D29	6D19-100
	Lapangan	24D29	6D19-150
Kolom 950 × 950	Tumpuan	16D27	6D16-100
	Lapangan	16D27	6D16-150

Sumber: Kajian Penulis, 2024

Tabel 7. Penulangan Kolom SRPMK 12

Nama Balok	Perletakan	Tul. Lentur	Tul. Geser
Kolom 1150 × 1150	Tumpuan	24D29	6D19-100
	Lapangan	24D29	6D19-150
Kolom 950 × 950	Tumpuan	16D27	6D16-100
	Lapangan	16D27	6D16-150

Sumber: Kajian Penulis, 2024

Tabel 8. Penulangan Kolom DS 12

Nama Balok	Perletakan	Tul. Lentur	Tul. Geser
Kolom 950 × 950	Tumpuan	16D27	6D16-100
	Lapangan	16D27	6D16-150
Kolom 750 × 750	Tumpuan	12D25	6D14-100
	Lapangan	12D25	6D14-150

Sumber: Kajian Penulis, 2024

Tabel 9. Penulangan Dinding Geser DS 12

Dimensi (mm)	Tul. Horizontal	Tul. Vertikal
400 × 5000	D25-100	D16-200

Sumber: Kajian Penulis, 2024

Analisis Level Kinerja Struktur

Analisis level kinerja dengan *software* ETABS, menghasilkan *output Performance Point* SRPMK 12 arah X dan Y serta gedung DS 12 arah X dan Y yang dapat dilihat pada Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.

Tabel 10. *Performance Point* SRMPK 12 Arah X

Kategori	Deskripsi	Kategori	Deskripsi
Point Found	Yes	T secant	1,949 sec
Shear	71038,86 kN	T effective	2,084 sec
Displacement	288.031 mm	Ductility Ratio	3,928556
Sa	0,245196	Effective Damping	0,1944
Sd	231,181	Modification Factor	1,148667

Sumber: Kajian Penulis, 2024

Tabel 11. *Performance Point* SRMPK 12 Arah Y

Kategori	Deskripsi	Kategori	Deskripsi
Point Found	Yes	T secant	1,591 sec
Shear	91217,22 kN	T effective	1,841 sec
Displacement	310,926 mm	Ductility Ratio	3,548261
Sa	0,356306	Effective Damping	0,1676
Sd	241,859	Modification Factor	1,327519

Sumber: Kajian Penulis, 2024

Tabel 12. *Performance Point* DS 12 Arah X

Kategori	Deskripsi	Kategori	Deskripsi
Point Found	Yes	T secant	1,567 sec
Shear	80861,54 kN	T effective	2,008 sec
Displacement	398,158 mm	Ductility Ratio	4,460313
Sa	0,435395	Effective Damping	0,2011
Sd	267,895	Modification Factor	1,640863

Sumber: Kajian Penulis, 2024

Tabel 13. *Performance Point* DS 12 Arah Y

Kategori	Deskripsi	Kategori	Deskripsi
Point Found	Yes	T secant	1,412 sec
Shear	135571,2 kN	T effective	2,223 sec
Displacement	528,592 mm	Ductility Ratio	5,882545
Sa	0,723904	Effective Damping	0,2056
Sd	358,313	Modification Factor	2,479643

Sumber: Kajian Penulis, 2024

Pada *Performance Point* Pushover yang telah disajikan, level kinerja dapat ditentukan oleh besarnya *drift ratio* yang terjadi, rekapitulasi level kinerja struktur dapat dilihat pada Tabel 14 berikut ini.

Tabel 14. Level Kinerja Struktur

Sistem Struktur	Drift Ratio (%)		Level Kinerja
	X	Y	
SRPMK 12	0,6	0,648	IO
DS 12	0,829	0,894	IO

Sumber: Kajian Penulis, 2024

Berdasarkan tabel *drift ratio* dan level kinerja yang telah disajikan, struktur SRPMK 12 dan struktur DS 12 memiliki level kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

Perbandingan Harga Struktur

Dari hasil pemodelan gedung pada *software* Autodesk Revit, maka dapat dihitung volume yang dapat digunakan dalam perbandingan harga struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda, dan hasilnya pada tabel berikut.

Tabel 15. Level Kinerja Struktur

Struktur	Elemen	Volume	Harga	Total
SRPMK 12	Beton	6.395,58 m ³	Rp 1.683.500	Rp 10.766.950.175
	Besi Beton	1.407.930 kg	Rp 20.489	Rp 28.847.073.246
DS 12	Beton	4.606,35 m ³	Rp 1.683.500	Rp 7.754.790.225
	Besi Beton	1.063.096 kg	Rp 20.489	Rp 21.781.768.791

Sumber: Kajian Penulis, 2024

Berdasarkan Tabel rekapitulasi harga diatas, harga total struktur dari elemen beton dan baja SRPMK 12 dengan harga Rp 39.614.023.421 lebih mahal dari segi biaya jika dibandingkan dengan struktur DS 12 yang memiliki harga Rp 29.536.559.016.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis pushover menggunakan metode FEMA 440 pada struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda untuk gedung 12 lantai, keduanya menunjukkan level kinerja yang masuk dalam kategori Immediate Occupancy (IO). Sedangkan, hasil perbandingan harga dan volume material menunjukkan bahwa struktur dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) memiliki biaya yang lebih tinggi, yaitu sebesar 25,43% dibandingkan dengan struktur Sistem Ganda.

REFERENSI

- Anam, S., Sutriyono, B., & Tri Murtiningrum, R. (2020). Studi Perbandingan Kinerja Gedung Beton Bertulang SRPMK 6 Lantai Dengan Menggunakan Metode Pushover Dan Nonlinear Time History Analysis.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik Indonesia 2024* (Vol. 52).
- FEMA 356. (2000). *Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings*.
- FEMA 440. (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*.
- Listiko Wijaya, T., & Rochmah, N. (2024). *Comparison Of Behavior Of Steel Structure Split K-Braced And V-Braced Eccentric Truss System*, Perbandingan Perilaku Struktur Baja Sistem Rangka Terbreis Eksentris Tipe Split K-Braced Dan V-

Braced. *Journal of Scienteck Research and Development*, 6(1).
<http://idm.or.id/JSCR>

Sumastono, A. A., Surya, B., & Syafri, S. (2023). Alih Fungsi Guna Lahan Dan Perubahan Nilai Lahan Pada Kawasan Kota Baru Moncongloe Metropolitan Mamminasata. *Urban and Regional Studies Journal*, 6(1), 50-57.
<https://doi.org/10.35965/ursj.v6i1.3861>