

Perbandingan Analisis Kapasitas Beban Maksimum Silinder Beton antara SNI 2847:2019 dan Simulasi Monte Carlo

Samsul Hasibuan¹, Fandi Notodiharjo², Fransisca Bella³, Alexander Bayu⁴, Jomitho Dos Santos⁵

^{1,2,3,4,5} Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Indonesia

Email: Samsulhasibuan@gmail.com

ABSTRAK

Teknik simulasi merupakan suatu metode yang dilakukan secara numerik atau yang lain, tanpa melakukan eksperimen secara fisik. Teknik simulasi dapat menggunakan data pada pengujian-pengujian sebelumnya, atau dengan data lain tanpa eksperimen untuk menentukan distribusi probabilitas pada persoalan-persoalan penting yang sedang dihadapi. Metode simulasi monte carlo merupakan suatu metode yang bertujuan untuk mendekati parameter-parameter tertentu. Distribusi probabilitas dari variable random yang nilainya tergantung pada interaksi dengan variable random yang distribusi probabilitasnya sudah dispesifikasi. Makalah ini bertujuan membandingkan hasil analisis berdasarkan SNI 2847 (2019) dengan hasil analisis berdasarkan metode monte carlo pada benda uji silinder beton. Makalah ini juga dapat menjadi refrensi untuk menguji keakuratan hasil eksperimen pada benda uji beton pada eksperimen-eksperimen yang selanjutnya. Makalah ini menggunakan jumlah data random terdistribusi seragam sebanyak 100 data untuk mendapatkan mean dan standar devisasi. Analisis dilakukan pada 2 buah benda uji silinder beton dengan dimensi yang sama yaitu 150 mm X 300 mm, namun dengan mutu beton dan mutu baja yang berbeda. Selanjutnya hasil analisis didapatkan kapasitas beban maksimum yang mampu dipikul oleh silinder beton berdasarkan SNI dan juga berdasarkan simulasi monte carlo. Hasil analisis pada kedua benda uji berdasarkan SNI 2847 (2019) dan simulasi monte carlo memiliki selisih 0,8 % dan 0,7 %. Nilai koefisien skewness dan kurtosis berturut-turut adalah -0,16 dan -0,83.

Kata kunci: Kurtosis, Mean, Monte Carlo, Skewness, SNI 2847:2019

ABSTRACT

Simulation technique is a method carried out numerically or otherwise, without using physical experiment. Simulation technique can use data in previous tests, or with other data without experiments to determine the probability distribution of important problem faced. The monte carlo simulation method is a methods that aims to approach certain parameters. The probability distribution of a random variable whose value depends on the interaction with a random variable whose probability distribution has been determined. This paper aims to compare the results of analyzs based on the SNI 2847 (2019) with monte carlo method on concrete cylinder specimens. This paper can also

be a reference to test accuracy of experimental results on concrete test specimens in subsequent experiments. This paper uses the number of uniformly distributed random values from 100 data to get the mean and standard deviation. The analysis was carried out on 2 concrete cylinder specimens with the same dimensions, 150 mm X 300 mm, but with different quality of concrete and quality of steel. Furthermore, the analysis results obtained the maximum load capacity that can be carried by concrete cylinders based on SNI 2847:2019 and monte carlo simulation. The results of the analysis of the 2 specimens based on SNI 2847:2018 and monte carlo simulation had a difference of 0,8 % and 0,7 %. Coefficients of skewness and kurtosis values are -0,16 and -0,83 respectively.

Keywords: Kurtosis, Mean, Monte Carlo, Skewness, SNI 2847:2019

1. Pendahuluan

Teknik simulasi merupakan suatu metode yang dilakukan secara numerik atau yang lain tanpa melakukan eksperimen secara fisik. Teknik simulasi dapat menggunakan data pada pengujian-pengujian sebelumnya, atau dengan data lain tanpa eksperimen untuk menentukan distribusi probabilitas pada persoalan-persoalan penting yang sedang dihadapi. Kemudian distribusi tersebut digunakan untuk menurunkan model-model numerik yang dapat diterapkan pada persoalan-persoalan teknik. Prediksi pada persoalan-persoalan fisik pada umumnya diperlukan suatu eksperimen secara fisik yang sering memerlukan waktu dan biaya yang cukup banyak. Beberapa metode simulasi yang paling sering digunakan pada bidang teknik diantaranya: 1) Metode simulasi monte carlo dimana metode ini bertujuan untuk mendekati parameter-parameter tertentu dan distribusi probabilitas dari variable random yang nilainya tergantung pada interaksi dengan variable random yang distribusi probabilitasnya sudah dispesifikasi. 2) Metode Latin *hypercube sampling* adalah salah satu cara untuk mengurangi jumlah simulasi yang diperlukan untuk memperoleh hasil yang logis. Metode ini digunakan bilamana persoalan yang sedang dianalisis sangatlah kompleks, dan memakan waktu. 3)

Metode Rosenblueth's 2K+1 dimana metode ini memerlukan jumlah simulasi $N = 2K + 1$, dimana K adalah banyaknya input variable random, dengan ide utama adalah untuk mengevaluasi suatu variable random pada (2K+1) titik dan menggunakannya untuk menentukan mean dan varians dari fungsi distribusi tertentu. Contoh kasus misalnya diketahui bahwa ketahanan momen suatu balok atau kolom beton bertulang merupakan fungsi dari banyak variabel random seperti lebar balok, tinggi balok, kuat tekan beton, kuat tarik baja tulangan, dan distribusi probabilitas ketahanan momen tersebut tergantung pada suatu persamaan yang menghubungkan dengan variabel random tersebut. Dalam hal ini, persoalan tersebut tidak dapat diselesaikan dengan analisis sederhana, sedangkan metode monte Carlo dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan tersebut. Makalah ini bertujuan membandingkan hasil analisis berdasarkan SNI 2847 (2019) dengan hasil analisis berdasarkan metode monte carlo pada benda uji silinder beton. Selanjutnya untuk mengetahui kapasitas maksimum beban yang mampu di pikul oleh benda uji silinder beton, menurut SNI 2847 (2019) dapat dihitung berdasarkan persamaan 1. Untuk mengetahui σ dari kapasitas maksimum beban dihitung berdasarkan persamaan 2.

$$P_o = 0,85 \times F_c' \times (A_g - A_{st}) + A_{st} \times f_y \quad (1)$$

$$\sigma P_o = \sqrt{(0,85 \times F_c' \times (A_g - A_{st}))^2 + (A_{st} \times F_y)^2} \quad (2)$$

Dimana F_c' adalah mutu beton (MPa), A_g adalah luas bruto penampang kolom (mm^2), A_{st} adalah luas total tulangan kolom (mm^2) dan F_y adalah tegangan leleh baja yang ditampilkan pada Tabel 1. Makalah ini juga

dapat menjadi referensi untuk menguji keakuratan hasil eksperimen pada benda uji beton pada eksperimen-eksperimen yang selanjutnya.

Tabel 1. Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum, f_u (MPa)	Tegangan leleh Minimum, f_y (MPa)	Peregangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber: Amon dkk, 1996

2. Metode

Metode yang digunakan untuk membandingkan hasil analisis yang ditetapkan SNI 2847:2019 pada makalah ini yaitu metode simulasi monte carlo, dimana prosedur dasar monte carlo menurut Ranganathan, (1999) yaitu:

- a. Menghasilkan angka acak dari standar terdistribusi seragam.
- b. Melakukan transformasi matematis dari standar terdistribusi seragam yang menghasilkan penyimpangan secara acak dari distribusi yang diinginkan.

$$\Phi(ui) = \Phi\left(\frac{Xi - \mu}{\sigma}\right) \tag{3}$$

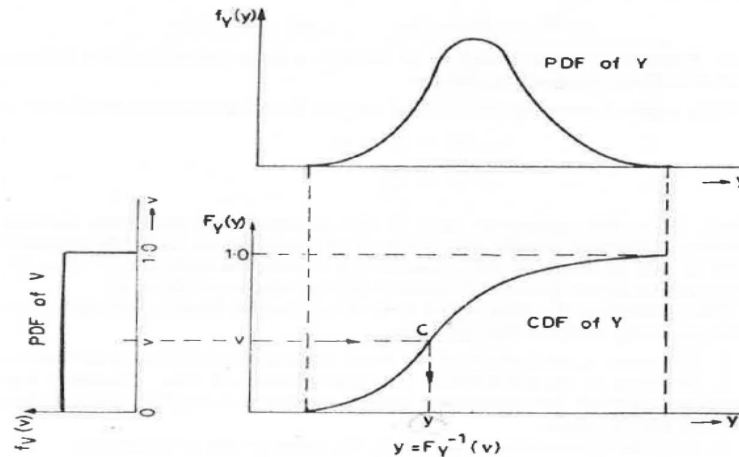
Fungsi standard normal pada persamaan 3 bisa di *inverse* dengan teknik transformasi inverse

- c. Gunakan deviasi yang ditransformasikan dalam eksperimen sesuai kebutuhan.

Penurunan variable terdistribusi seragam antara 0 dan 1 ini merupakan dasar prosedur a, penurunan tersebut ada di berbagai *literature* berupa subrutin dan beberapa program matematik. Penurunan variabel terdistribusi seragam dapat diturunkan dengan bantuan *spread sheet* pada *Ms. Excel*.

Fungsi standard normal untuk mean (μ) dan standard deviasi (σ) menurut persamaan 3.

seperti Gambar 1, selanjutnya di sederhanakan mejadi persamaan 4 atau persamaan 5.



Gambar 1. Inverse Transformasi
 Sumber: Ranganathan, 1999

$$\Phi^{-1}(ui) = Zi$$

$$\Phi^{-1} = \left(\frac{Xi - \mu}{\sigma} \right) = Zi \tag{4}$$

$$\text{Atau} \left(\frac{Xi - \mu}{\sigma} \right) = Zi \tag{5}$$

Menghitung mean menurut persamaan 6,
 menghitung variance menurut persamaan 7,

menghitung standard deviasi menurut
 persamaan 8.

$$\mu = \frac{\sum \bar{x}}{n} \tag{6}$$

$$V^2 = \frac{\sum (\bar{x} - xi)^2}{n - 1} \tag{7}$$

$$Sd = \sqrt{V^2} \tag{8}$$

Bahan benda uji yang digunakan untuk
 analisis adalah sebagai berikut:

- a. Benda uji 1 = 150 x 300 mm (Silinder
 Beton)
 Mutu beton = K-250
 Mutu baja = BJ-41
- b. Benda uji 2 = 150 x 300 mm (Silinder
 Beton)
 Mutu beton = K-300
 Mutu baja = BJ-50

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis yang dilakukan secara numerik
 berdasarkan SNI 2847-2019 untuk benda uji 1
 dan 2 adalah sebagai berikut:

- a. Benda Uji 1 = 150 x 300 mm (Silinder)
 Mutu beton K-250
 Mutu baja BJ-41

Perhitungan:

$$F_c' = 250 \times 0,83 \times (9,81/100) = 20,35 \text{ MPa}$$

$$\sigma F_c' = 0,75 \times \sqrt{f_c'}$$

$$= 3,38 \text{ MPa}$$

$$F_y = 250 \text{ MPa (Tabel 1)}$$

$$\sigma F_y' = \frac{3}{4} \times \left(\frac{22}{7} \right) \times \sqrt{250} = 37,27 \text{ MPa}$$

$$P_o = 0,85 \times F_c' \times (A_g - A_{st}) + A_{st} \times F_y$$

Dimana:

$$A_g = 150 \times 300 = 45000 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 0,03 \times A_g = 1350 \text{ mm}^2$$

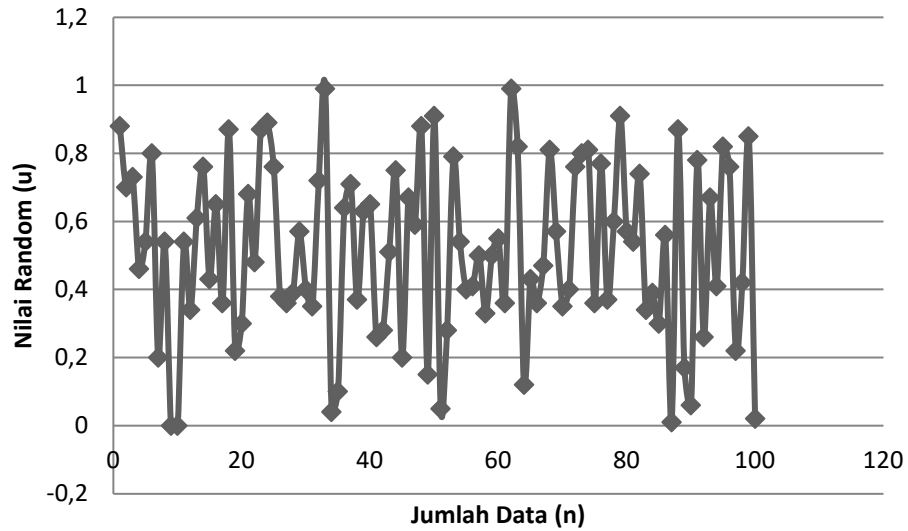
Maka,

$$P_o = 1093 \text{ kN}$$

$$\sigma P_o =$$

$$\sqrt{(0,85 \times F_c' \times (A_g - A_{st}))^2 + (A_{st} \times F_y)^2} = 135 \text{ kN}$$

Simulasi Monte Carlo untuk n = 100 pada
 Gambar 2. Hasil Analisis simulasi monte carlo
 ditampilkan dalam bentuk tabel ditampilkan
 pada Tabel 2 dan diagram seperti pada
 Gambar 3.



Gambar 2. Nilai Random vs Jumlah Data
Sumber: Hasil Analisis, 2020

Tabel 2. Simulasi Monte Carlo Benda Uji 1

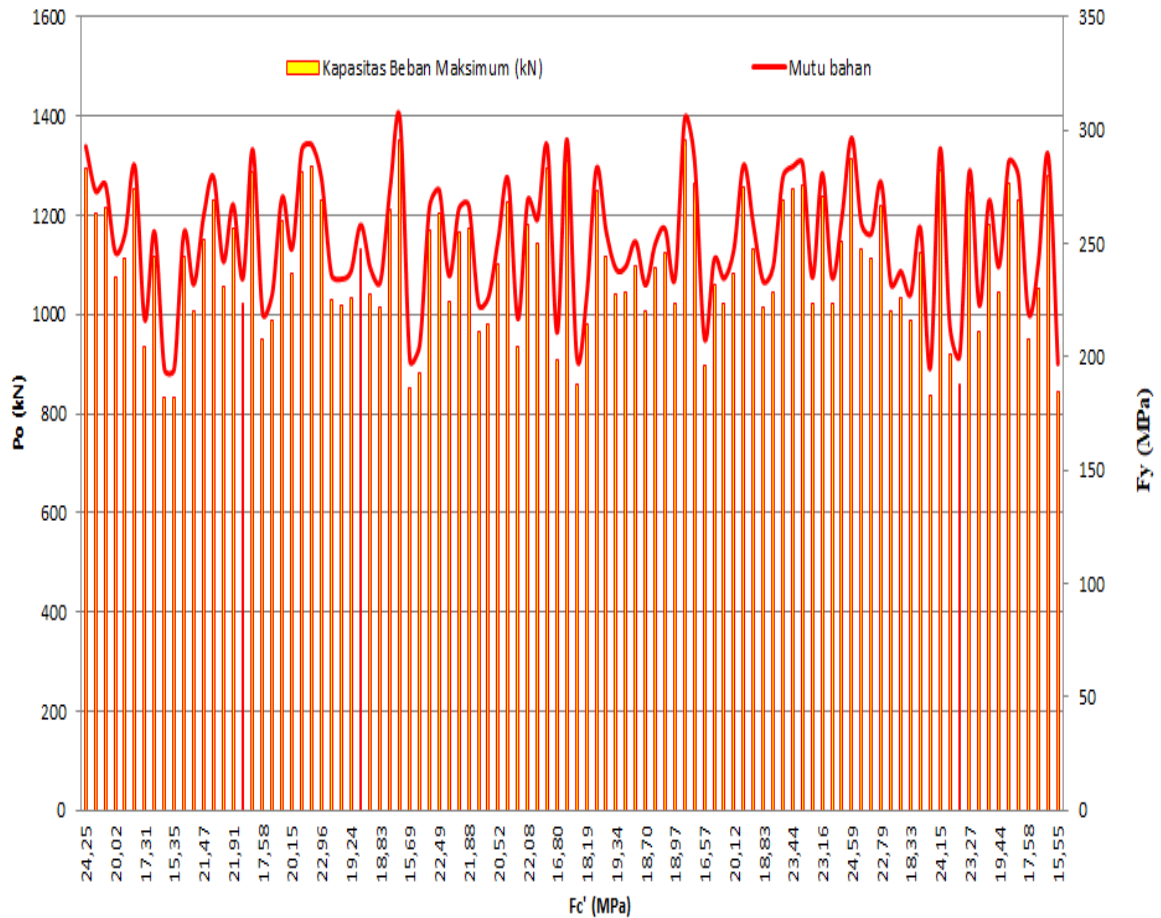
n	u	z	Fc' (Mpa)	Fy (MPa)	Po (kN)	Kumulatif	%
1	0,88	1,15	24,25	293	1295	1295	1,18
2	0,70	0,62	22,45	273	1202	2497	2,27
3	0,73	0,70	22,72	276	1216	3713	3,37
4	0,46	-0,10	20,02	246	1075	4788	4,35
5	0,54	0,12	20,76	254	1114	5902	5,36
6	0,80	0,91	23,44	284	1253	7154	6,50
7	0,20	-0,90	17,31	216	934	8089	7,35
8	0,54	0,14	20,83	255	1117	9206	8,36
9	0,00	-1,48	15,35	195	832	10039	9,12
10	0,00	-1,48	15,35	195	832	10871	9,87
11	0,54	0,13	20,80	255	1116	11987	10,89
12	0,34	-0,48	18,73	232	1008	12995	11,80
13	0,61	0,33	21,47	262	1151	14146	12,85
14	0,76	0,79	23,03	279	1232	15378	13,97
15	0,43	-0,21	19,65	242	1056	16433	14,93
16	0,65	0,46	21,91	267	1174	17607	15,99
17	0,36	-0,41	18,97	235	1021	18628	16,92
18	0,87	1,11	24,11	291	1288	19916	18,09
19	0,22	-0,82	17,58	219	949	20864	18,95
20	0,30	-0,59	18,36	228	989	21853	19,85

21	0,68	0,55	22,22	270	1189	23043	20,93
22	0,48	-0,06	20,15	248	1082	24125	21,91
23	0,87	1,11	24,11	291	1288	25413	23,08
24	0,89	1,17	24,31	294	1299	26711	24,26
25	0,76	0,77	22,96	279	1228	27940	25,38
26	0,38	-0,36	19,14	237	1029	28969	26,31
27	0,36	-0,42	18,93	234	1019	29988	27,24
28	0,39	-0,33	19,24	238	1035	31023	28,18
29	0,57	0,22	21,10	258	1131	32154	29,21
30	0,40	-0,30	19,34	239	1040	33194	30,15
31	0,35	-0,45	18,83	233	1014	34208	31,07
32	0,72	0,67	22,62	275	1211	35418	32,17
33	0,99	1,47	25,33	305	1351	36769	33,40
34	0,04	-1,38	15,69	199	850	37620	34,17
35	0,10	-1,20	16,30	205	882	38501	34,97
36	0,64	0,43	21,81	266	1168	39670	36,03
37	0,71	0,63	22,49	273	1204	40873	37,12
38	0,37	-0,38	19,07	236	1026	41899	38,06
39	0,63	0,41	21,74	265	1165	43064	39,11
40	0,65	0,45	21,88	267	1172	44236	40,18
41	0,26	-0,72	17,92	223	966	45202	41,06
42	0,28	-0,64	18,19	226	980	46182	41,95
43	0,51	0,05	20,52	252	1102	47284	42,95
44	0,75	0,76	22,93	278	1226	48510	44,06
45	0,20	-0,89	17,34	217	936	49446	44,91
46	0,67	0,51	22,08	269	1182	50629	45,99
47	0,59	0,29	21,34	261	1144	51772	47,02
48	0,88	1,15	24,25	293	1295	53067	48,20
49	0,15	-1,05	16,80	211	908	53976	49,03
50	0,91	1,23	24,52	296	1309	55285	50,21
51	0,05	-1,34	15,82	200	857	56142	50,99
52	0,28	-0,64	18,19	226	980	57122	51,88
53	0,79	0,89	23,37	283	1249	58371	53,02
54	0,54	0,14	20,83	255	1117	59489	54,03
55	0,40	-0,30	19,34	239	1040	60529	54,98
56	0,41	-0,27	19,44	240	1045	61574	55,93
57	0,50	0,02	20,42	251	1096	62670	56,92

58	0,33	-0,49	18,70	232	1007	63677	57,84
59	0,50	0,00	20,36	250	1093	64769	58,83
60	0,55	0,17	20,93	256	1123	65892	59,85
61	0,36	-0,41	18,97	235	1021	66913	60,78
62	0,99	1,48	25,36	305	1353	68266	62,01
63	0,82	0,98	23,67	287	1265	69531	63,15
64	0,12	-1,12	16,57	208	896	70427	63,97
65	0,43	-0,19	19,71	243	1059	71486	64,93
66	0,36	-0,41	18,97	235	1021	72507	65,86
67	0,47	-0,07	20,12	247	1080	73587	66,84
68	0,81	0,93	23,50	285	1256	74843	67,98
69	0,57	0,21	21,07	258	1130	75973	69,01
70	0,35	-0,45	18,83	233	1014	76987	69,93
71	0,40	-0,28	19,41	240	1044	78030	70,87
72	0,76	0,79	23,03	279	1232	79262	71,99
73	0,80	0,91	23,44	284	1253	80515	73,13
74	0,81	0,95	23,57	285	1260	81774	74,28
75	0,36	-0,40	19,00	235	1022	82797	75,20
76	0,77	0,83	23,16	281	1239	84036	76,33
77	0,37	-0,40	19,00	235	1022	85058	77,26
78	0,60	0,31	21,40	262	1147	86205	78,30
79	0,91	1,25	24,59	297	1313	87518	79,49
80	0,57	0,23	21,13	259	1133	88651	80,52
81	0,54	0,12	20,76	254	1114	89765	81,53
82	0,74	0,72	22,79	277	1219	90984	82,64
83	0,34	-0,48	18,73	232	1008	91993	83,56
84	0,39	-0,33	19,24	238	1035	93027	84,50
85	0,30	-0,60	18,33	228	987	94014	85,39
86	0,56	0,18	20,96	257	1124	95139	86,41
87	0,01	-1,47	15,38	195	834	95973	87,17
88	0,87	1,12	24,15	292	1290	97263	88,34
89	0,17	-0,98	17,04	213	920	98183	89,18
90	0,06	-1,32	15,89	201	861	99044	89,96
91	0,78	0,86	23,27	282	1244	100288	91,09
92	0,26	-0,73	17,89	223	964	101252	91,97
93	0,67	0,51	22,08	269	1182	102435	93,04
94	0,41	-0,27	19,44	240	1045	103480	93,99
95	0,82	0,97	23,64	286	1263	104743	95,14

96	0,76	0,79	23,03	279	1232	105975	96,26
97	0,22	-0,82	17,58	219	949	106923	97,12
98	0,42	-0,23	19,58	241	1052	107976	98,07
99	0,85	1,05	23,91	289	1277	109253	99,23
100	0,02	-1,42	15,55	197	843	110096	100,00

Sumber: Hasil Analisis, 2020



Gambar 3. Diagram Simulasi Monte Carlo Benda Uji 1

Sumber: Hasil Analisis, 2020

n = 100 data
 $\mu P_o = 1101 \text{ kN}$
 $\sigma P_o = 135 \text{ kN}$

b. Benda Uji 2 = 150 x 300 mm (Silinder)
 Mutu beton K-300
 Mutu baja BJ-50
 Perhitungan secara analitis:

$$F_c' = 300 \times 0,83 \times (9,81/100) = 24,43 \text{ MPa}$$

$$\sigma F_c' = 0,75 \times \sqrt{f_c'}$$

$$F_y = 3,71 \text{ MPa}$$

$$F_y = 290 \text{ MPa (Tabel 1)}$$

$$\sigma F_y' = \frac{3}{4} \times \left(\frac{22}{7}\right) \times \sqrt{290} = 40,14 \text{ MPa}$$

$$P_o = 0,85 \times F_c' \times (A_g - A_{st}) + A_{st} \times F_y$$

Dimana:

$$A_g = 150 \times 300 = 45000 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 0,03 \times A_g = 1350 \text{ mm}^2$$

Maka,

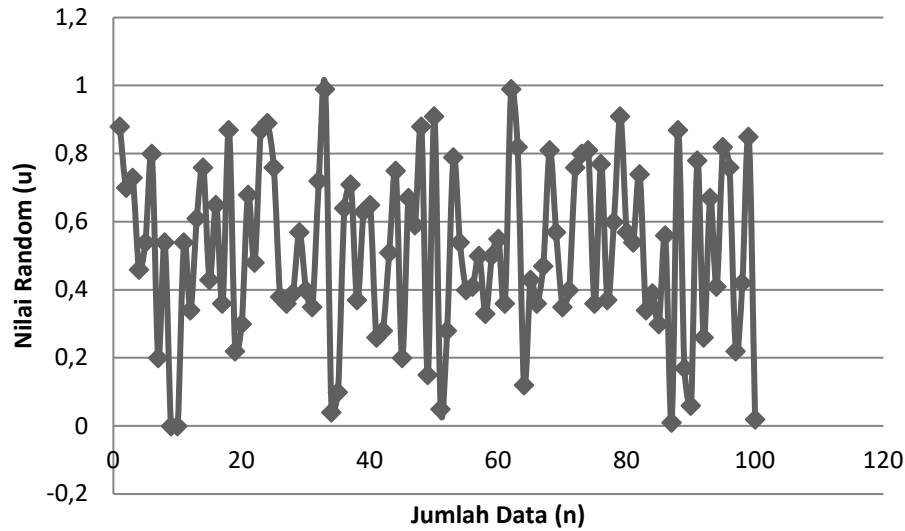
$$P_o = 1298 \text{ kN}$$

$$\sigma P_o =$$

$$\sqrt{(0,85 \times F_c' \times (A_g - A_{st}))^2 + (A_{st} \times F_y)^2}$$

$$= 148 \text{ kN}$$

Simulasi Monte Carlo untuk $n = 100$ pada Gambar 4. Hasil Analisis simulasi monte carlo ditampilkan dalam bentuk tabel ditampilkan pada Tabel 3 dan diagram seperti pada Gambar 5.



Gambar 4. Nilai Random vs Jumlah Data
Sumber: Hasil Analisis, 2020

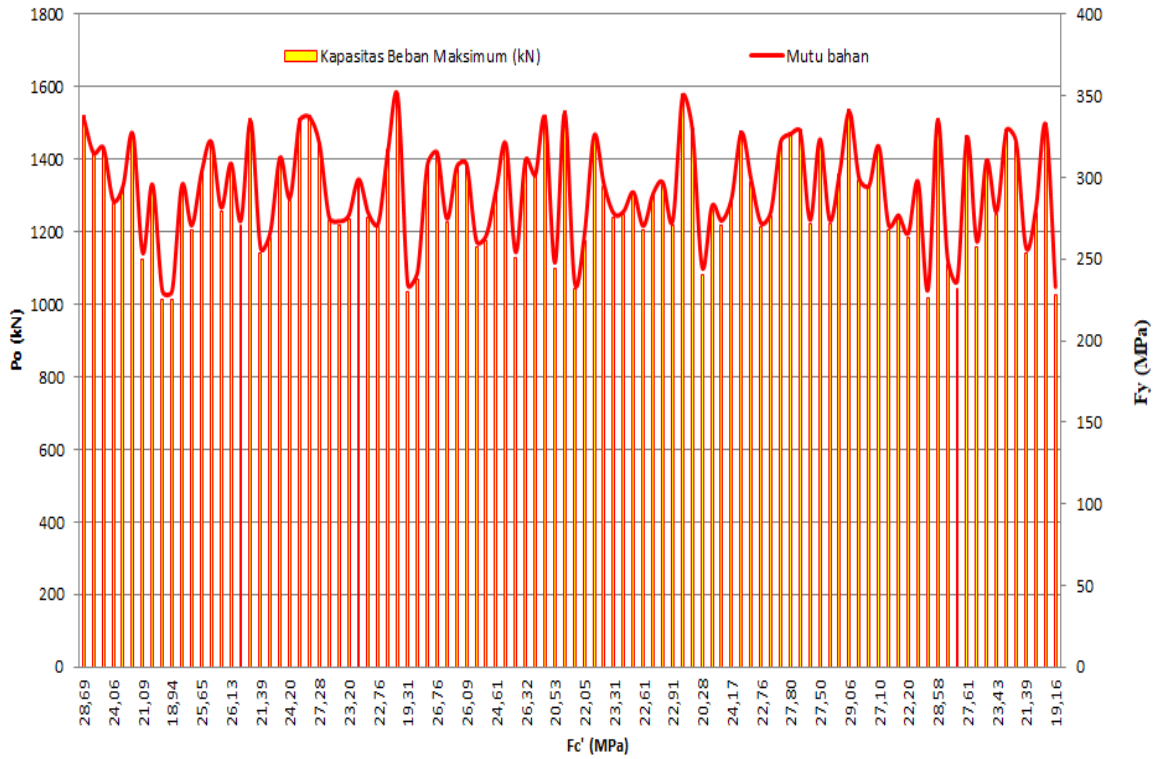
Tabel 3. Simulasi Monte Carlo Benda Uji 2

n	u	z	Fc' (Mpa)	Fy (MPa)	Po (kN)	Kumulatif	%
1	0,88	1,15	28,69	336	1518	1518	1,16
2	0,70	0,62	26,73	315	1417	2935	2,25
3	0,73	0,70	27,02	318	1432	4367	3,34
4	0,46	-0,10	24,06	286	1279	5646	4,32
5	0,54	0,12	24,87	295	1321	6966	5,33
6	0,80	0,91	27,80	327	1472	8439	6,46
7	0,20	-0,90	21,09	254	1125	9564	7,32
8	0,54	0,14	24,95	296	1325	10889	8,33
9	0,00	-1,48	18,94	231	1014	11903	9,11
10	0,00	-1,48	18,94	231	1014	12917	9,88
11	0,54	0,13	24,91	295	1323	14239	10,90
12	0,34	-0,48	22,65	271	1206	15445	11,82
13	0,61	0,33	25,65	303	1361	16806	12,86
14	0,76	0,79	27,36	322	1449	18255	13,97
15	0,43	-0,21	23,65	282	1258	19513	14,93

16	0,65	0,46	26,13	308	1386	20899	15,99
17	0,36	-0,41	22,91	274	1219	22118	16,93
18	0,87	1,11	28,54	335	1511	23629	18,08
19	0,22	-0,82	21,39	257	1141	24769	18,95
20	0,30	-0,59	22,24	266	1185	25954	19,86
21	0,68	0,55	26,47	312	1403	27357	20,94
22	0,48	-0,06	24,20	288	1286	28644	21,92
23	0,87	1,11	28,54	335	1511	30154	23,08
24	0,89	1,17	28,76	337	1522	31676	24,24
25	0,76	0,77	27,28	321	1445	33122	25,35
26	0,38	-0,36	23,09	276	1229	34351	26,29
27	0,36	-0,42	22,87	273	1217	35568	27,22
28	0,39	-0,33	23,20	277	1235	36802	28,16
29	0,57	0,22	25,24	299	1340	38142	29,19
30	0,40	-0,30	23,31	278	1240	39383	30,14
31	0,35	-0,45	22,76	272	1212	40594	31,06
32	0,72	0,67	26,91	317	1426	42020	32,16
33	0,99	1,47	29,88	349	1580	43600	33,37
34	0,04	-1,38	19,31	235	1033	44633	34,16
35	0,10	-1,20	19,98	242	1068	45701	34,97
36	0,64	0,43	26,02	307	1380	47081	36,03
37	0,71	0,63	26,76	315	1419	48500	37,11
38	0,37	-0,38	23,02	275	1225	49725	38,05
39	0,63	0,41	25,95	306	1376	51101	39,11
40	0,65	0,45	26,09	308	1384	52485	40,16
41	0,26	-0,72	21,76	261	1160	53645	41,05
42	0,28	-0,64	22,05	264	1175	54820	41,95
43	0,51	0,05	24,61	292	1307	56127	42,95
44	0,75	0,76	27,24	321	1444	57571	44,06
45	0,20	-0,89	21,13	254	1127	58698	44,92
46	0,67	0,51	26,32	310	1396	60094	45,99
47	0,59	0,29	25,50	302	1353	61447	47,02
48	0,88	1,15	28,69	336	1518	62965	48,18
49	0,15	-1,05	20,53	248	1096	64062	49,02
50	0,91	1,23	28,99	339	1534	65595	50,20
51	0,05	-1,34	19,46	236	1041	66636	50,99
52	0,28	-0,64	22,05	264	1175	67811	51,89
53	0,79	0,89	27,73	326	1468	69280	53,02
54	0,54	0,14	24,95	296	1325	70605	54,03
55	0,40	-0,30	23,31	278	1240	71845	54,98
56	0,41	-0,27	23,43	279	1246	73091	55,93
57	0,50	0,02	24,50	291	1302	74392	56,93
58	0,33	-0,49	22,61	270	1204	75596	57,85
59	0,50	0,00	24,43	290	1298	76894	58,84
60	0,55	0,17	25,06	297	1330	78225	59,86
61	0,36	-0,41	22,91	274	1219	79444	60,79
62	0,99	1,48	29,91	349	1582	81025	62,01
63	0,82	0,98	28,06	329	1486	82511	63,14
64	0,12	-1,12	20,28	245	1083	83594	63,97
65	0,43	-0,19	23,72	282	1261	84855	64,94

66	0,36	-0,41	22,91	274	1219	86075	65,87
67	0,47	-0,07	24,17	287	1284	87359	66,85
68	0,81	0,93	27,87	327	1476	88835	67,98
69	0,57	0,21	25,21	298	1338	90173	69,01
70	0,35	-0,45	22,76	272	1212	91385	69,93
71	0,40	-0,28	23,39	279	1244	92629	70,88
72	0,76	0,79	27,36	322	1449	94078	71,99
73	0,80	0,91	27,80	327	1472	95550	73,12
74	0,81	0,95	27,95	328	1480	97030	74,25
75	0,36	-0,40	22,94	274	1221	98251	75,19
76	0,77	0,83	27,50	323	1457	99708	76,30
77	0,37	-0,40	22,94	274	1221	100929	77,24
78	0,60	0,31	25,58	302	1357	102287	78,28
79	0,91	1,25	29,06	340	1537	103824	79,45
80	0,57	0,23	25,28	299	1342	105166	80,48
81	0,54	0,12	24,87	295	1321	106487	81,49
82	0,74	0,72	27,10	319	1436	107923	82,59
83	0,34	-0,48	22,65	271	1206	109128	83,51
84	0,39	-0,33	23,20	277	1235	110363	84,46
85	0,30	-0,60	22,20	266	1183	111546	85,36
86	0,56	0,18	25,09	297	1332	112878	86,38
87	0,01	-1,47	18,98	231	1016	113894	87,16
88	0,87	1,12	28,58	335	1513	115406	88,32
89	0,17	-0,98	20,79	251	1110	116516	89,16
90	0,06	-1,32	19,53	237	1045	117561	89,96
91	0,78	0,86	27,61	325	1463	119024	91,08
92	0,26	-0,73	21,72	261	1158	120182	91,97
93	0,67	0,51	26,32	310	1396	121577	93,04
94	0,41	-0,27	23,43	279	1246	122823	93,99
95	0,82	0,97	28,02	329	1484	124307	95,13
96	0,76	0,79	27,36	322	1449	125756	96,24
97	0,22	-0,82	21,39	257	1141	126897	97,11
98	0,42	-0,23	23,57	281	1254	128151	98,07
99	0,85	1,05	28,32	332	1499	129650	99,22
100	0,02	-1,42	19,16	233	1026	130675	100

Sumber: Hasil Analisis, 2020



Gambar 5. Diagram Simulasi Monte Carlo Benda Uji 2
Sumber: Hasil Analisis, 2020

$n = 100$ data

$\mu_{Po} = 1307$ kN

$\sigma_{Po} = 147$ kN

Estimasi selisih untuk mean dan standar deviasi pada simulasi monte carlo pada benda uji 1 yaitu sebesar 0,8 % untuk mean dan 0,1 % untuk standar deviasi. Pada benda uji 2 selisih 0,7 % untuk mean dan 0,3 % untuk standar deviasi. Koefisien skewness pada simulasi monte carlo sebesar -0,16 dan koefisien kurtosis sebesar -0,83, nilai-nilai secara teoritis dari koefisien skewness dan kurtosis 0 dan 3 maka data termasuk kondisi ideal atau terdistribusi normal. Namun pada makalah ini koefisien kurtosis sebesar -0,83 yang berarti termasuk dalam *platy kurtosis* yaitu terdistribusi seragam dikarenakan penulis hanya menggunakan nilai random positif antara 0 sampai 1.

4. Kesimpulan

Hasil analisis numerik berdasarkan SNI 2847:2019 pada benda uji 1 didapatkan kapasitas beban maksimum yang mampu pikul oleh beton adalah sebesar 1093 kN dan hasil analisis numerik berdasarkan simulasi monte carlo didapatkan mean sebesar 1101 kN selisih 0,8 %. Pada benda uji 2 didapatkan kapasitas beban maksimum yang mampu pikul oleh beton adalah sebesar 1298 kN dan hasil analisis numerik berdasarkan simulasi monte carlo didapatkan mean sebesar 1307 kN selisih 0,7 %. Dari hasil-hasil tersebut tentunya sangat baik untuk digunakan sebagai pengontrol hasil eksperimen di laboratorium. Simulasi monte carlo terdistribusi seragam (*platy kurtosis*) akan lebih *valid* jika menggunakan jumlah data random yang lebih banyak, namun hasil-hasilnya tidak terlalu signifikan.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis pertama mengucapkan terima kasih kepada Dr. Ade Lisantono, M.Eng. karena telah banyak memberikan referensi-referensi tentang simulasi monte carlo dan juga telah memberikan banyak penjelasan.

6. Daftar Pustaka

- [1] M. Takeshi, "A Monte Carlo simulation method for system reliability analysis," *Nucl. Saf. Simul.*, vol. 4, no. 1, hal. 44–52, 2013.
- [2] L. I. Ronald, "Latin Hypercube Sampling," no. January. Southwest Technology Consultants, hal. 408–411, 1999, doi: 10.1002/9780470061596.risk0299.
- [3] Ruofeng, Q.u., & Guangli, Xu., "Application of Rosenblueth Method to Stability Analysis of Abandoned Mine Spoil Slope," *EJGE*, vol. 18, hal. 2133–2142, 2013.
- [4] S. Setiawan, "Keandalan struktur balok sederhana dengan simulasi monte carlo," Universitas Maranatha, 2006.
- [5] Y. A. Pranata, "Teknik Simulasi Untuk Memprediksi Keandalan Lendutan Balok Statis Tertentu," in *National Civil Engineering Conference % Call For Paper*, 2006, hal. 43–52.
- [6] P. G. Cardoso, J.B., Almeida, J.R.D., Dias, J.M., & Coelho, "Structural reliability analysis using Monte Carlo simulation and neural networks," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 39, no. 6, hal. 505–513, doi: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2007.03.015>.
- [7] SNI 2847, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan*. Jakarta, Indonesia: BADAN STANDARDISASI NASIONAL, 2019.
- [8] Amon, R., & Knobloch, B., *Perencanaan Kontruksi Baja Untuk Insinyur dan Arsitek*, 2 ed. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1996.
- [9] Ranganathan, R., *Structural Reliability Analysis and Design*, 1 ed. Bombay, India: Jaico Publishing House, 1999.
- [10] SNI 1729, *Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural*. Jakarta, Indonesia: Badan Standardisasi Nasional, 2015.
- [11] UNTIRTA, "Templete Penulisan Jurnal Fondasi." Jurusan Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten, Indonesia, hal. 1–3, 2019.

