

Analisis Pengendalian Mutu Beton pada Proyek Rumah Susun PIK Pulo Gadung dengan Metode *Statistical Quality Control*

Moch Sofyan Setiadi¹, Kristianto Usman^{1*}, Surya Sebayang¹, Ika Kustiani¹

Submitted: 10/02/2024

Revised: 22/04/2024

Accepted: 24/04/2024

ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk terjadi begitu pesat sehingga menyebabkan permasalahan lahan perumahan. Rumah susun menjadi solusi hunian vertikal dengan memanfaatkan lahan secara efektif dan efisien, sesuai dengan SDGs (*Sustainable Development Goals*) nomor 11 yaitu menjadikan kota dan pemukiman inklusif, aman, berketahanan dan berkelanjutan. Sehingga diperlukan pengawasan agar kualitasnya terjaga. Tujuan penelitian adalah mengetahui kesesuaian mutu beton dari pelat, balok, kolom menggunakan metode *Statistical Quality Control* (SQC) serta faktor yang menyebabkan mutu beton sesuai/tidak dengan rencana. Pengendalian mutu dilakukan dengan pengujian kuat tekan. Hasil pengujian dianalisis dengan SQC. Dari analisis diperoleh hasil mutu beton dari pelat, balok, kolom memenuhi mutu rencana. Berdasarkan *X-chart* untuk pelat dan balok sesuai target 43,75%, dibawah target 25%, keluar UCL 18,75%, keluar LCL 12,5%. Kolom fc' 40 MPa sesuai target 63,64%, dibawah target 9,09%, keluar UCL 9,09%, keluar LCL 18,18%. Kolom Fc' 30 MPa sesuai target 40%, dibawah target 20%, keluar UCL 20%, keluar LCL 20%. Berdasarkan R-chart untuk pelat dan balok sesuai target 43,75%, dibawah target 56,25%. Kolom fc' 40 MPa sesuai target 45,45%, dibawah target 54,55%. Kesimpulannya berdasarkan *X-chart* memenuhi rencana, tetapi prosesnya tidak stabil. Berdasarkan *R-chart* prosesnya stabil dan terkendali. Besarnya variabilitas beton diindikasikan karena faktor air semen, *curing* dan kualitas pelaksanaan kurang sempurna.

Kata kunci: mutu beton, pengendalian mutu, SQC

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah penduduk di kota-kota besar di Indonesia terjadi begitu pesat, sehingga menyebabkan permasalahan keterbatasan terhadap ketersediaan lahan bagi perumahan. Hal ini mendorong Masyarakat untuk menghuni kawasan yang tidak sesuai dengan tata ruang kota dan tidak layak huni. Contoh penyimpangan pemanfaatan lahan untuk perumahan yang terjadi secara illegal yaitu pada lokasi sepanjang rel kereta api, bantaran Sungai, maupun di atas tanah yang bukan menjadi hak miliknya. Munculnya pemukiman di kawasan yang tidak semestinya ini menyebabkan bertambahnya pemukiman kumuh, peningkatan *urban crime* dan masih banyak masalah lain[1].

Keterbatasan ketersediaan lahan bagi perumahan menjadi suatu masalah yang harus di hadapi saat ini. Salah satu Solusi untuk menyediakan perumahan yang layak bagi masyarakat adalah dengan Pembangunan rumah susun sebagai solusi dalam penyediaan hunian vertical dengan memanfaatkan lahan yang tersedia secara efektif dan efisien. Hal ini sesuai dengan salah satu tujuan dari SDGs (*Sustainable Development Goals*) nomor 11 yaitu menjadikan kota dan pemukiman inklusif, aman, berketahanan dan berkelanjutan.

Salah satu proyek Pembangunan rumah susun di Indonesia yaitu Proyek Rumah Susun PIK Pulogadung, yang terdiri dari 3 tower dengan masing-masing tower terdiri dari 16 lantai.

¹ Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1, Gedungmeneng, Bandar Lampung, 35154

* Corresponding Author: kristianto.usman@eng.unila.ac.id



Mengingat pentingnya rumah susun ini sehingga pada proses pembangunannya diperlukan pengawasan agar kualitas konstruksinya dapat terjaga dan tidak terjadi kegagalan dalam pelaksanaannya. Kegagalan konstruksi yang terjadi ini diakibatkan karena standar mutu tidak diterapkan dalam pelaksanaan dan tidak sesuai dengan mutu sebagaimana yang sudah tercantum dalam dokumen spesifikasi teknis pada setiap pekerjaan[2]. Salah satu mutu produk yang harus terjaga dan sesuai dengan yang direncanakan yaitu mutu beton. Mutu beton yang digunakan harus sesuai rencana untuk menghasilkan bangunan yang berkualitas[3]. Mutu beton yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah direncanakan itu akan menurunkan kualitas pada suatu bangunan, sehingga bisa terjadi kegagalan pada konstruksi tersebut

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kesesuaian mutu beton dari komponen struktur gedung (pelat, balok dan kolom) dengan yang telah direncanakan dengan menggunakan metode *Statistical Quality Control* (SQC) berdasarkan parameter *X-chart* yaitu rata-rata dan *R-chart* yaitu rentang atau jangkauan. Serta untuk mengetahui faktor-faktor yang mungkin menyebabkan mutu beton sesuai/tidak sesuai dengan mutu rencana. Hasil yang didapat berupa *control chart* yang menunjukkan mutu beton apakah sudah sesuai dengan rencana atau masih di bawah mutu rencana, juga dilihat berdasarkan variabilitas dari mutu tersebut melalui batasan-batasan yang berlaku di SQC, apabila sesuai mutu rencana dan variabilitasnya kecil maka mutu beton tersebut sudah sangat baik, sedangkan apabila mutu sesuai dan variabilitasnya besar maka diperlukan adanya analisis penyebabnya, sedangkan apabila mutu tidak sesuai dengan rencana maka diperlukan adanya evaluasi dan Langkah-langkah perbaikan terhadap mutu beton tersebut.

Penelitian ini dapat dijadikan sebagai pembandingan dalam upaya pengendalian mutu beton pada proyek konstruksi gedung dan juga masukan kepada kontraktor dan konsultan manajemen konstruksi untuk memperhatikan pengendalian mutu di proyek tersebut, serta penelitian ini juga dapat dijadikan sebagai sumber referensi untuk penelitian lainnya berkaitan dengan tema pengendalian mutu pada proyek konstruksi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pengendalian mutu merupakan salah satu tolak ukur kinerja yang sangat mempengaruhi hasil akhir dari tujuan dan sasaran pembangunan. Pengendalian mutu tidak hanya dilakukan dengan cara inspeksi atau pemeriksaan setelah itu dilakukan tindakan koreksi, akan tetapi dilakukan selama proses berlangsungnya pembuatan produk agar tidak terjadi penyimpangan terhadap prosedur[4].

Untuk mencapai hasil penelitian yang lebih baik maka perlu dilakukan tinjauan pustaka yang mengacu pada penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan, beberapa penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Penelitian Usman dan Widyawati (2011) dengan judul “Pengendalian Mutu Beton *Ready Mix* Pada *Batching Plant* Dengan Menggunakan *Statistical Quality Control*” merupakan penelitian mengenai cara pengawasan dan pengendalian mutu beton *ready mix* pada *batching plant* dengan melakukan pengujian slump dan kuat tekan beton yang bertujuan untuk mengetahui apakah pengujian yang dilakukan sudah sesuai dengan kekuatan beton yang direncanakan[5].
- 2) Penelitian Suwandi (2012) dengan judul “Pengendalian Kualitas Beton Melalui Pengujian Kuat Tekan Dengan Metode *Design of Experiment* (DOE)” bertujuan untuk mengetahui hal apa saja yang dapat mempengaruhi sifat kuat tekan maksimum dari beton. Ada 3 langkah dalam penelitian ini yaitu Eksperimen, Desain dan Analisis. Desain dan Analisis. Dari penelitian ini didapat kesimpulan yaitu nilai kuat tekan beton dipengaruhi oleh faktor penyiraman dan waktu pengeringan[6].
- 3) Penelitian Aichouni et al. (2017) dengan judul “*Statistical Analysis of Concrete Strength Variability for Quality Assessment: Case Study of a Saudi Construction Project*” bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi kesempatan untuk meningkatkan atau perbaikan proses produksi beton dan metode pembuatan beton. Dalam penelitian ini dilakukan

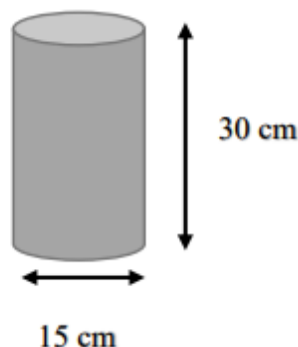
penelitian dengan melihat kuat tekan dari beton dengan mengamati variabilitas pada kekuatan tekan beton[7].

- 4) Penelitian Hutomo (2018) dengan judul “Pengendalian Kualitas dengan SPC (*Statistical Process Control*) untuk Mutu Beton pada Proyek Apartemen Biz Square” bertujuan untuk menganalisis dan menggambarkan pengendalian proses mutu beton pada proyek apartemen Biz Square serta menganalisa tren mutu yang terjadi dan menentukan langkah koreksinya (*corrective action*)[8].
- 5) Penelitian Huda dkk (2021) dengan judul “Pengendalian Kualitas Produk Dengan Menggunakan Metode *Statistical Process Control*” bertujuan untuk mengetahui apakah beton ready mix di Adhimix RMC Indonesia untuk proyek transmart bekasi telah memenuhi syarat sesuai spesifikasi teknis[9].

Pada penelitian kali ini dilakukan pada rumah susun dengan mengambil sampel beton di lapangan untuk struktur pelat, balok dan kolom pada lantai 8 sampai 16. Sebelum melakukan pengecoran, beton akan melalui uji slump dan ketika sudah lolos uji slump tersebut maka akan dibuat sampel untuk uji kuat tekan beton berupa silinder lalu diberikan nama sesuai tempat beton tersebut akan diaplikasikan. Sampel beton inilah yang dijadikan sampel penelitian untuk kemudian dilakukan uji kuat tekan dan dilakukan analisis menggunakan metode *statistical quality control*.

Beton merupakan bahan yang paling banyak digunakan pada pembangunan dalam bidang teknik sipil seperti bangunan gedung, jembatan, bendung dan konstruksi lainnya. Beton dibentuk oleh pengerasan campuran antara agregat halus (pasir), agregat kasar (split atau kerikil), semen, air, dengan atau tanpa bahan tambahan untuk membentuk massa padat[10]. Salah satu hal yang dapat menentukan beton berkualitas atau tidak adalah dilihat dari kuat tekannya, dimana kuat tekan ini diperoleh dari hasil pengujian benda uji beton yang sudah dirawat selama 3, 7, 14 atau 28 hari dari saat pengecoran.

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menahan gaya tekan dalam satu satuan permukaan luas. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh komposisi dari perbandingan antara agregat kasar, agregat halus, semen dan air. Hasil nilai uji kuat tekan yang dihasilkan akan tergantung pada ukuran dan bentuk benda uji, penimbangan, prosedur pencampuran, metode pengambilan contoh, pencetakan dan umur, temperatur dan kondisi kelembaban selama perawatan. Hasil pengujian kuat tekan beton dapat digunakan sebagai bahan evaluasi untuk pengendalian mutu dari komposisi campuran beton, proses pencampuran dan kegiatan pengecoran beton[11]. Seperti dapat dilihat pada gambar 1, benda uji yang digunakan untuk uji kuat tekan beton yaitu berupa beton yang berbentuk silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm.



Gambar 1. Dimensi Benda Uji Kuat Tekan Beton

Dalam pelaksanaannya dilapangan, faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton yaitu:

- 1) Nilai faktor air semen, jika terlalu banyak air yang digunakan maka kualitas beton akan menurun
- 2) Rasio agregat-semen, semakin besar rasio agregat-semen maka semakin buruk kualitas beton yang dihasilkan karena kuantitas pasta semen yang menyelimuti agregat berkurang.

- 3) Derajat kepadatan, semakin baik cara pemadatan beton maka semakin baik pula kualitas beton yang dihasilkan.
- 4) Umur beton, semakin lama umur beton maka semakin meningkat kuat tekan beton.
- 5) Cara perawatan, perawatan beton di laboratorium dilakukan dengan cara perendaman, sedangkan di lapangan biasa dilakukan dengan menutup beton menggunakan karung basah atau menyiram air ke permukaan beton.
- 6) Jenis semen, jenis semen yang digunakan dalam pembuatan beton berpengaruh kepada kuat tekan beton.
- 7) Kualitas agregat, meliputi gradasi, tekstur permukaan, bentuk, kekuatan, kekakuan dan ukuran maksimum agregat

Evaluasi mutu beton berdasarkan SNI ini mengacu pada SNI 2847:2013. Mutu beton, baik itu mutu beton fasa segar (misal: nilai slump) maupun mutu beton keras (misal: nilai kuat tekan) akan menghasilkan nilai yang bervariasi. Variasi yang diizinkan terjadi dalam pembuatan beton di antaranya, variasi material, metode pencampuran, transportasi, pengecoran, perawatan dan pengujian kekuatan sampel.

Tindakan yang diambil jika terjadi hasil evaluasi menunjukkan mutu beton tidak memenuhi syarat:

- 1) Analisis untuk menjamin bahwa tahanan struktur dalam memikul beban masih dalam batas aman (analisa kemampuan beban layan aktual)
- 2) Jika analisis menunjukkan bahwa struktur berkurang kekuatannya secara signifikan, dilakukan uji contoh beton inti (coring) pada lokasi yang bermasalah, sebanyak minimal 3 contoh uji beton inti pada tiap nilai yang bermasalah

Jika dari hasil pengujian beton inti (coring) masih tidak memenuhi syarat, maka langkah yang bisa dilakukan:

- 1) Dilaksanakan uji beban jika diperintahkan oleh Pengawas atau Perencana
- 2) Ditambah perkuatan pada struktur yang bermasalah, jika memungkinkan dan diizinkan oleh Pengawas
- 3) Struktur yang bermasalah dibongkar dan dicor ulang.

Ada beberapa metode pengendalian mutu yang biasanya digunakan yaitu sebagai berikut:

- 1) *Design Of Experiment (DOE)* adalah sebuah pendekatan sistematis untuk menginvestigasi suatu sistem atau proses dan digunakan sebagai kajian dalam peningkatan kualitas produk dan proses. DoE digunakan untuk mengetahui hubungan sebab akibat antara output (variabel respon) dan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Beberapa keunggulan dari metode DoE ini yaitu dapat memaparkan sebab variasi respon dari unit yang diamati melalui penentuan faktor mana yang berpengaruh, dapat memperoleh kondisi optimum dari respon yang diamati, dapat membandingkan respon-respon dari berbagai perlakuan (kombinasi level) yang berbeda, dan dapat meminimumkan efek dari faktor tak terkontrol sehingga menghasilkan proses/produk yang baik[12]. Akan tetapi pengaplikasiannya di lapangan masih menunjukkan beberapa keterbatasan DoE tidak mengakomodir atau memperhatikan resiko α (produsen) dan β (konsumen) dalam menentukan berapa banyak replikasi yang dibutuhkan, di dalam penggunaan DoE terdapat sindrom “semakin banyak data yang dihasilkan, maka hasilnya juga akan semakin baik”. seringkali hasil eksperimen dianalisis/dibaca sebagai data yang “full factorial”, walaupun satu atau lebih faktor tidak dilakukan pengacakan karena sejumlah keterbatasan, dan masih ada beberapa kekurangan dari DoE dilihat dari dimensi statistik, teknis dan metodologi, serta sosiologis dan manajerial.
- 2) *Six Sigma* adalah sebuah metode peningkatan kualitas terhadap suatu produk. *Six sigma* digunakan sebagai metode baru yang paling populer dan merupakan alternatif dalam prinsip-prinsip pengendalian kualitas yang merupakan terobosan dalam bidang manajemen kualitas[13]. Dalam penerapannya, six sigma memiliki 5 (lima) langkah untuk memperbaiki kinerja bisnis yaitu *define, measure, analyze, improve, dan control*. Keunggulan dari metode

six sigma diantaranya meningkatkan kualitas, optimalisasi proses, pengambilan keputusan berdasarkan data, pengurangan biaya, dan perbaikan berkelanjutan. Sedangkan kekurangan dari metode ini diantaranya yaitu membutuhkan waktu dan sumber daya yang besar, metodologi yang kompleks, kurangnya fleksibilitas dalam merespon perubahan yang cepat, tantangan implementasi dan terlalu menekankan pada pengurangan cacat sehingga mengorbankan faktor-faktor penting yang lain.

- 3) *Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)* teknik yang digunakan untuk meningkatkan keandalan dan keamanan suatu proses dengan cara mengidentifikasi potensi kegagalan - atau disebut modus kegagalan - pada proses tersebut. Keunggulan metode ini yaitu menangkap potensi kegagalan atau risiko serta dampaknya dan memprioritaskan mereka pada skala numerik yang disebut Nomor Prioritas Risiko (RPN) yang berkisar antara 1 hingga 1000. Ini adalah metode yang sangat masuk akal dan efektif jika dilaksanakan tepat waktu. Sedangkan kekurangan metode ini yaitu implementasi metode membutuhkan input yang cukup besar, karena lebih banyak detail proses mengarah pada peningkatan geometrik di area yang dianalisis, dan jumlah kejadian yang memengaruhi tumbuh secara bersesuaian. Metode ini dalam diagram logika Boolean, yang menunjukkan hanya dua kondisi: berfungsi dan gagal. Sulit untuk memperkirakan keadaan kegagalan sebagian dari bagian-bagian proses, karena penggunaan metode umumnya menunjukkan bahwa prosesnya baik dalam kondisi baik atau dalam keadaan rusak. Serta ini membutuhkan pakar keandalan dengan pengetahuan mendalam tentang proses[14]
- 4) *Statistical Quality Control (SQC)* merupakan teknik penyelesaian masalah yang digunakan untuk memonitor, mengendalikan, menganalisis, mengelola dan memperbaiki produk dan proses menggunakan metode-metode statistik[15]. SQC terkadang disebut sebagai SPC (*Statistical Process Control*), akan tetapi kedua metode ini memiliki perbedaan. SQC mempunyai cakupan yang lebih luas karena didalamnya terdapat SPC, *acceptance sampling*, dan analisis kemampuan proses. SQC digunakan untuk memantau output dari proses sedangkan SPC untuk mengontrol input proses, dengan kata lain SPC berguna untuk memantau proses secara *real-time* untuk mencegah kerusakan, sedangkan SQC untuk memastikan bahwa setiap output atau produk memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan, serta dilakukan aktivitas seperti inspeksi tambahan setelah produksi selesai.

Kelebihan dari metode SQC

- 1) Bekerja berdasarkan data/fakta yang objektif dan bukan berdasarkan opini yang subjektif. SQC dapat memantau kinerja mutu mulai dari awal hingga akhir, sehingga keputusan yang diambil benar-benar akurat berdasarkan analisa dan pengolahan berbagai data yang ada.
- 2) Dapat menggambarkan ketidaknormalan mutu dan melihat pola kecenderungan peningkatan/penurunan mutu dalam volume besar, sehingga bisa diambil tindakan perbaikan bahkan tindakan pencegahan sebelum masalah tersebut benar-benar terjadi.
- 3) Dapat menggambarkan variabilitas dalam karakteristik kualitas/mutu dari suatu produk.

Penelitian ini berfokus pada output dari sampel uji kuat tekan beton untuk mengetahui mutu dari beton tersebut apakah sudah sesuai dengan yang direncanakan serta untuk mengetahui faktor yang berpengaruh terhadap tidak sesuainya mutu pada beton. Sehingga metode yang sesuai dengan tujuan dari penelitian ini adalah metode *statistical quality control (SQC)*.

Proses pengendalian mutu salah satunya dapat menggunakan metode *Statistical Quality Control (SQC)* yaitu dengan memasukkan data dari mutu suatu produk ke dalam sebuah *Control charts*. *Control charts* terbagi menjadi 2 jenis yaitu *X-charts* dan *R-chart*, dimana *X-chart* parameteranya yaitu rata-rata dari suatu kumpulan data sedangkan *R-chart* memiliki parameter Rentang atau jangkauan dari suatu data. *X-chart* dan *R-chart* keduanya memiliki batas kendali yaitu batas kendali atas (*upper control limit/UCL*) dan (*lower control limit/LCL*)[5].

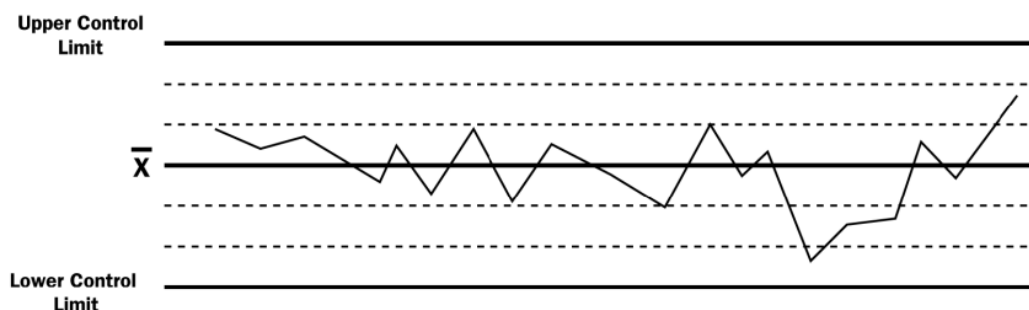
Konsep terpenting dalam *Statistic Quality Control* adalah Variabilitas, diantaranya yaitu:

- 1) Variabilitas antar sampel (misalnya rata-rata atau nilai tengah)

- 2) Variabilitas dalam sampel (misalnya *range* atau standar deviasi)

Selanjutnya penyelesaian masalah dalam *Statistical Quality Control* mencakup 2 hal, antara lain:

- 1) Melebihi batas pengendalian, jika proses dalam kondisi diluar kendali.
- 2) Tidak melebihi batas pengendalian, jika proses dalam kondisi terkendali.



Gambar 2. Contoh *Control Charts*

Control charts seperti yang dapat dilihat pada gambar 2, memiliki tiga garis umum:

- 1) Garis tengah, ditandai dengan "X" yang memberikan rata-rata (\bar{x}) dari data proses.
- 2) Garis atas yang menunjukkan batas kendali atas (UCL), digambar pada jarak yang dihitung di atas garis tengah, menunjukkan kisaran atas data yang dapat diterima
- 3) Garis bawah menunjukkan batas kendali bawah (LCL), yang menunjukkan kisaran bawah dari suatu data yang dapat diterima.

Titik-titik di luar UCL dan LCL menunjukkan bahwa proses tersebut tidak terkendali dan/atau tidak stabil.

Control Chart dibagi menjadi 2 yaitu:

- 1) *Control chart* rata-rata (\bar{x} chart)
Peta kendali ini digunakan untuk mengetahui rata-rata pengukuran antar sub grup yang diperiksa.
- 2) *Control chart* rentang (R chart)
Peta kendali ini digunakan untuk mengetahui besarnya rentang atau selisih antara nilai pengukuran antara nilai pengukuran yang terbesar dengan nilai pengukuran yang terkecil di dalam sub grup yang diperiksa.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode pelaksanaan penelitian ini yaitu dengan cara mengumpulkan data historis dari proyek pembangunan rumah susun PIK Pulo Gadung. Data pada penelitian ini berupa gambar kerja dan data hasil uji kuat tekan beton yang diuji pada laboratorium. Sampel penelitian kuat tekan beton berupa benda uji yang dilakukan pengujian di Laboratorium yang berasal dari Proyek Rumah Susun PIK Pulo Gadung pada pekerjaan kolom, balok dan pelat lantai dari lantai 1 sampai 16. Beton yang digunakan merupakan produksi salah satu produsen *ready mix concrete* di PT. Adhimix RMC Indonesia. Berdasarkan spesifikasi teknis mutu beton rencana yaitu f_c' 30 MPa dan f_c' 40 MPa. Sedangkan benda uji beton berupa silinder dengan ukuran 150 x 300 mm. sampel beton yang digunakan untuk perhitungan pada 1 lantai berjumlah 8 sampel untuk umur 28 hari. 8 sampel tersebut dibagi menjadi 4 area pada tiap lantai dengan setiap area berisi 2 sampel.

Data-data yang diperoleh dari hasil uji kuat tekan beton tersebut kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan metode *Statistical Quality Control*. Data-data yang ada akan disajikan dalam sebuah *Control Charts* untuk melihat tren yang terjadi dan melihat variabilitas yang terjadi pada semua sampel untuk kemudian dilakukan analisis dan evaluasi dari tren dan variabilitas yang terjadi pada *control charts*. Dengan dilakukannya analisa variabilitas kuat tekan beton kita akan mengetahui besarnya nilai-nilai data yang bervariasi dengan nilai tingkat sasaran. Besarnya

perbedaan atau penyimpangan yang terjadi dari nilai data-data tersebut diartikan sebagai variabilitas. Semakin jauh data dengan nilai tingkat sasarannya maka semakin buruk juga kualitas beton pada bangunan tersebut, begitu pula sebaliknya apabila data yang ada semakin mendekati nilai tingkat sasarannya maka semakin baik kualitas beton yang ada pada bangunan tersebut.

Metode SQC digunakan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian mutu beton dari komponen struktur gedung yakni pelat, balok dan kolom dengan yang direncanakan, mengetahui mutu beton berdasarkan *X-chart* dan *R-chart*, kemudian untuk mengetahui faktor-faktor yang mungkin menyebabkan mutu beton sesuai atau tidak dengan yang direncanakan.

Rumus yang digunakan untuk *Statistical Quality Control* (SQC) adalah:

- 1) Rata-Rata (*Mean*)

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} \quad (1)$$

- 2) Standar Deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})}{n - 1}} \quad (2)$$

- 3) *Control Limit* untuk *X-Bar Charts*

$$UCL = \bar{X} + z\sigma_x \quad (3)$$

$$LCL = \bar{X} - z\sigma_x \quad (4)$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

- 4) *Control Limits* untuk *X-Bar Charts* menggunakan sampel *Range*

$$UCL = \bar{X} + A_2\bar{R} \quad (6)$$

$$LCL = \bar{X} - A_2\bar{R} \quad (7)$$

- 5) *Control Limits* untuk *R-Charts*

$$UCL = D_4\bar{R} \quad (8)$$

$$LCL = D_3\bar{R} \quad (9)$$

Dalam perhitungan *control limits* untuk *x-chart* dan *R-chart* terdapat faktor A2, D3 dan D4 yang digunakan dalam perhitungan, berikut ini nilai faktor dari *control chart limits*

Tabel 1. Nilai Faktor *Control Chart Limits*

Sample Size <i>n</i>	Factor for \bar{x} -Chart	Factors for R-Chart	
	A2	D3	D4
2	1,88	0	3,268
3	1,023	0	2,574
4	0,729	0	2,282
5	0,577	0	2,115
6	0,483	0	2,00
7	0,419	0,076	1,924
8	0,373	0,136	1,864
9	0,337	0,184	1,816
10	0,308	0,223	1,777

Berikut ini merupakan bagan alir penelitian yang dilakukan yang menggambarkan proses dari awal hingga akhir dari penelitian ini. Proses alur penelitian dilakukan dengan Langkah-langkah berikut ini:

- 1) Studi literatur dan identifikasi masalah
- 2) Pengumpulan data, data yang diambil merupakan data sekunder berupa gambar kerja dan hasil uji kuat tekan beton
- 3) Analisis kekuatan menggunakan *statistical quality control* pada pelat, balok dan kolom pada lantai 1 sampai 16. Kuat tekan beton yang digunakan yaitu hanya pengujian pada umur 28 hari.
- 4) Analisis mutu rencana, X-chart dan R-chart
- 5) Menghitung persentase berdasarkan hasil analisis X-chart dan R-chart
- 6) Kesimpulan dan saran.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Teknis Proyek

Proyek pembangunan rumah susun PIK pulo gadung berada di jalan penggilingan raya, kompleks PIK Rt. 006 Rw. 006 kelurahan penggilingan, kota Jakarta Timur. Rumah susun ini terdiri dari 3 tower dengan masing-masing tower memiliki jumlah 16 lantai + lantai atap. Gambar 3 merupakan gambar perspektif dari bangunan rumah susun.

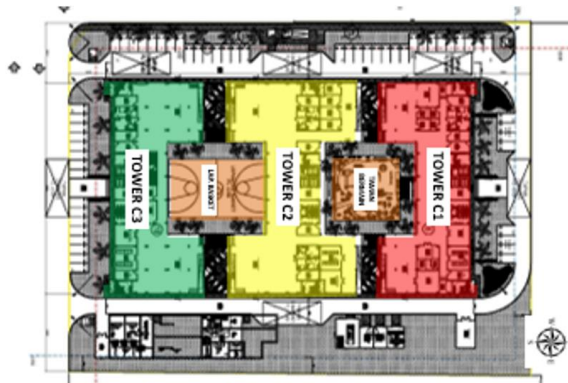


Gambar 3. Perspektif Bangunan

Luas lahan proyek pembangunan rumah susun ini adalah sebesar $\pm 12.156 \text{ m}^2$ dengan luas bangunan adalah sebesar $\pm 37.846,57 \text{ m}^2$ dan total tinggi bangunan adalah 57,5 m.

Pada proyek pembangunan rumah susun ini struktur kolom yang digunakan yakni berbentuk persegi panjang. Mutu beton yang digunakan untuk kolom dalam proyek ini yakni $f'c$ 40 MPa untuk kolom lantai 1-11, dan mutu beton $f'c$ 30 MPa untuk kolom lantai 12-16, mutu beton yang digunakan untuk struktur balok adalah $f'c$ 30 MPa, kemudian pada proyek ini memiliki ketebalan pelat lantai sebesar 120 mm dan mutu beton yang digunakan pada pelat lantai adalah $f'c$ 30 Mpa.

Analisa mutu beton menggunakan metode SQC dilakukan pada pelat, balok dan kolom mulai dari lantai 1 sampai 16 hanya pada tower C2. Mutu beton untuk pelat dan balok lantai 1 sampai 16 adalah f_c' 30 MPa, mutu beton untuk Kolom lantai 1 sampai 11 adalah f_c' 40 MPa sedangkan lantai 12 sampai 16 adalah 30 MPa. Gambar 4 merupakan *site plan* dari proyek rumah susun ini.



Gambar 4. Site Plan Bangunan

Analisis Statistical Quality Control Tower C2

Data hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan di laboratorium dilakukan analisis menggunakan metode SQC menghasilkan suatu *control charts* seperti dibawah ini

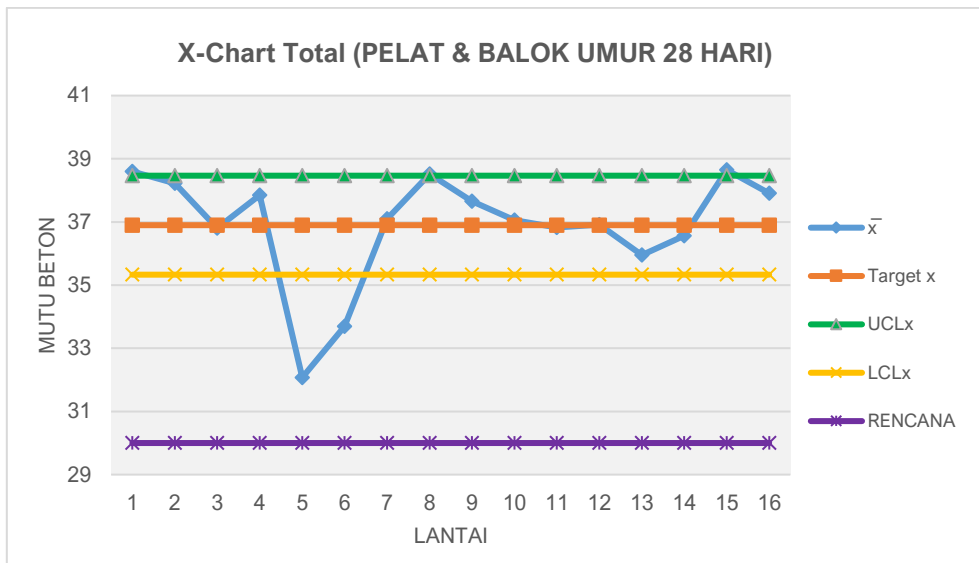
1) Pelat dan Balok

Data pada tabel 2 merupakan hasil hitungan pada pelat dan balok di lantai 1 sampai 16 dengan mutu f_c' 30 MPa pada umur 28 hari.

Tabel 2. Rekap Mutu Pelat dan Balok C2 f_c' 30 MPa umur 28 hari

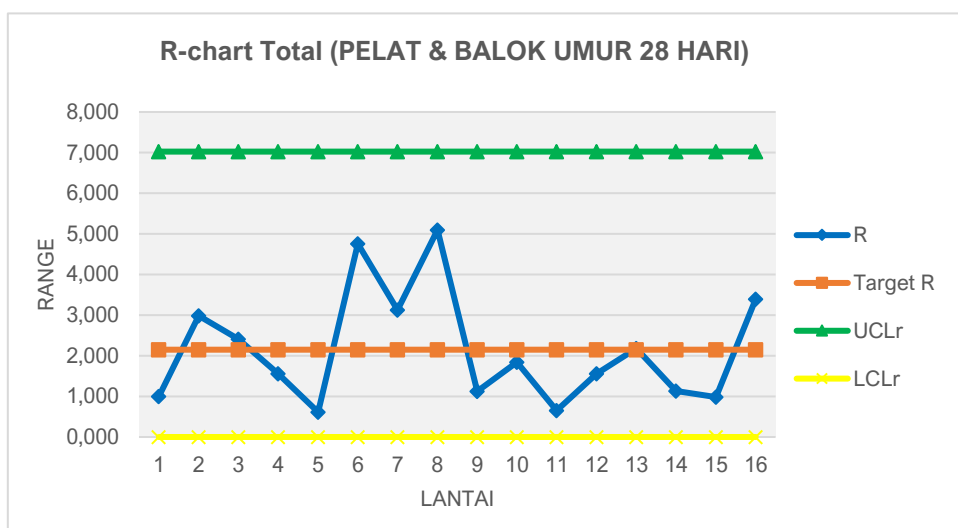
REKAP MUTU PELAT & BALOK UMUR 28 HARI											
SAMPLE	x1	x2	x3	x4	\bar{x}	R	UCLx	LCLx	RENC	$(x-\bar{x})$	$(x-\bar{x})^2$
LT. 1	38,045	39,045	38,501	38,780	38,593	1,000	38,46	35,33	30	1,696	2,876
LT. 2	36,915	39,900	38,000	38,055	38,217	2,985	38,46	35,33	30	1,321	1,744
LT. 3	38,055	37,570	35,650	35,935	36,802	2,405	38,46	35,33	30	-0,095	0,009
LT. 4	37,070	38,625	38,485	37,210	37,848	1,555	38,46	35,33	30	0,951	0,904
LT. 5	32,381	31,767	32,057	32,091	32,074	0,614	38,46	35,33	30	-4,823	23,262
LT. 6	37,230	32,506	32,574	32,477	33,697	4,753	38,46	35,33	30	-3,200	10,241
LT. 7	35,640	35,640	38,340	38,765	37,096	3,125	38,46	35,33	30	0,199	0,040
LT. 8	36,967	36,967	38,055	42,065	38,513	5,098	38,46	35,33	30	1,616	2,613
LT. 9	37,154	37,075	38,200	38,200	37,657	1,125	38,46	35,33	30	0,761	0,578
LT. 10	38,045	37,195	36,205	36,770	37,054	1,840	38,46	35,33	30	0,157	0,025
LT. 11	36,485	36,876	36,796	37,135	36,823	0,650	38,46	35,33	30	-0,074	0,005
LT. 12	35,925	37,480	37,335	36,915	36,914	1,555	38,46	35,33	30	0,017	0,000
LT. 13	37,340	35,719	35,581	35,160	35,950	2,180	38,46	35,33	30	-0,947	0,897
LT. 14	36,915	36,915	36,630	35,785	36,561	1,130	38,46	35,33	30	-0,336	0,113
LT. 15	39,175	38,190	38,610	38,610	38,646	0,985	38,46	35,33	30	1,749	3,060
LT. 16	36,210	37,905	39,600	37,905	37,905	3,390	38,46	35,33	30	1,008	1,016
				\bar{x}	36,9	2,149				0	47,382

Data hasil perhitungan pada tabel 2 kemudian dijadikan sebuah *control chart* berupa *x-chart* dan *R-chart* seperti pada gambar 5.



Gambar 5. X-Chart Pelat Dan Balok C2 Fc' 30 MPa Umur 28 Hari

Berdasarkan *X-chart* pada gambar 5, pelat dan balok fc' 30 MPa mutu beton pada lantai 1 sampai lantai 16 telah memenuhi mutu rencana yang ditentukan, sedangkan apabila dianalisis menggunakan SQC dapat dilihat bahwa terdapat data yang keluar dari batas atas dan batas bawah, sehingga ini menunjukkan bahwa prosesnya tidak stabil atau berada di luar kendali. Data yang memenuhi nilai target rata-rata sebesar 43,75%, dibawah target 25%%, keluar batas atas (UCL) 18,75%, keluar batas bawah (LCL) 12,5%.



Gambar 6. R-Chart Pelat dan Balok C2 Fc' 30 MPa Umur 28 Hari

Berdasarkan *R-chart* pada gambar 6, pelat dan balok dapat dilihat bahwa prosesnya terkendali dengan data yang memenuhi nilai target rata-rata sebesar 43,75%, dibawah target 56,25%.

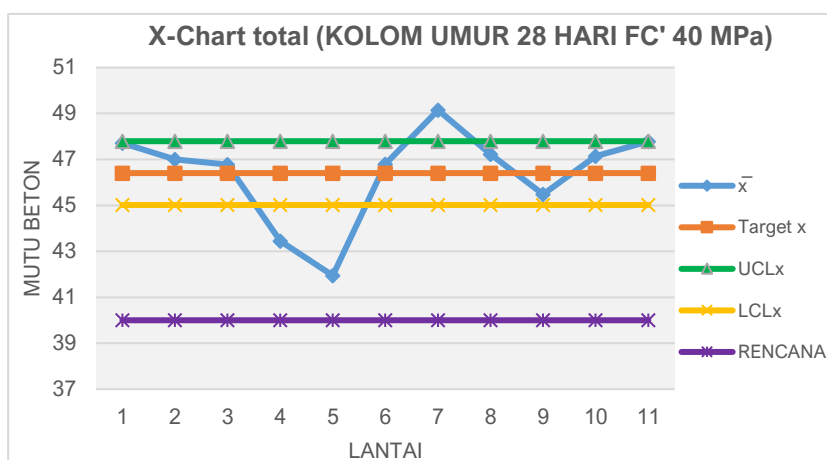
2) Kolom Fc' 40 MPa

Data pada tabel 3 merupakan hasil hitungan pada kolom di lantai 1 sampai 11 dengan mutu fc' 40 MPa pada umur 28 hari.

Tabel 3. Rekap Mutu Kolom C2 fc' 30 MPa umur 28 hari

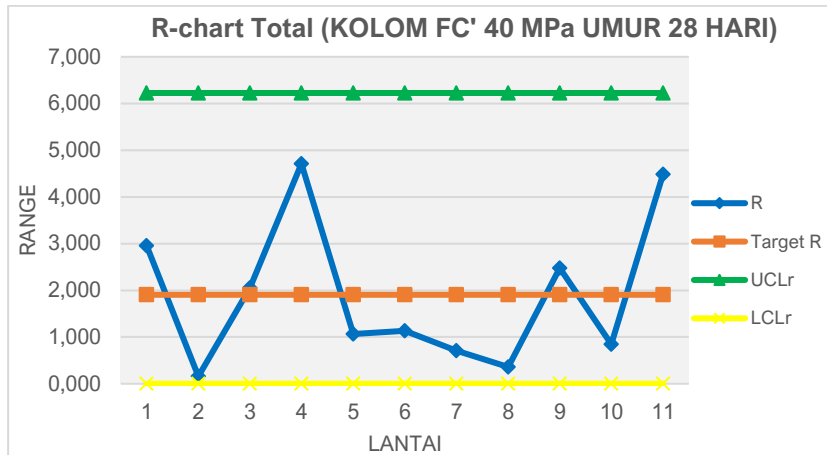
REKAP MUTU KOLOM UMUR 28 HARI (FC' 40 MPa)											
SAMPLE	x1	x2	x3	x4	\bar{x}	R	UCLx	LCLx	RENC	$(x-\bar{x})$	$(x-\bar{x})^2$
LT. 1	49,350	46,391	47,820	47,305	47,716	2,959	47,793	45,016	40	1,312	1,720
LT. 2	47,110	46,952	46,970	46,957	46,997	0,158	47,793	45,016	40	0,592	0,351
LT. 3	47,385	45,695	47,744	46,260	46,771	2,049	47,793	45,016	40	0,366	0,134
LT. 4	46,830	42,188	42,665	42,119	43,450	4,711	47,793	45,016	40	-2,954	8,728
LT. 5	41,477	41,477	42,540	42,284	41,945	1,063	47,793	45,016	40	-4,460	19,893
LT. 6	46,830	46,680	46,255	47,390	46,789	1,135	47,793	45,016	40	0,384	0,148
LT. 7	49,431	49,500	48,861	48,793	49,146	0,707	47,793	45,016	40	2,742	7,516
LT. 8	47,100	47,250	47,459	47,100	47,227	0,359	47,793	45,016	40	0,823	0,677
LT. 9	46,955	44,975	45,531	44,477	45,484	2,478	47,793	45,016	40	-0,920	0,847
LT. 10	47,443	46,595	47,228	47,303	47,142	0,848	47,793	45,016	40	0,737	0,544
LT. 11	50,027	47,784	45,540	47,784	47,784	4,487	47,793	45,016	40	1,379	1,901
				\bar{x}	46,4	1,905				0	42,459

Data hasil perhitungan pada tabel 3 kemudian dijadikan sebuah *control chart* berupa *x-chart* dan *R-chart* seperti pada gambar 7.



Gambar 7. X-Chart Kolom C2 Fc' 40 MPa Umur 28 Hari

Berdasarkan *X-chart* pada gambar 7, kolom fc' 40 MPa mutu beton pada lantai 1 sampai lantai 11 telah memenuhi mutu rencana yang ditentukan, sedangkan apabila dianalisis menggunakan SQC dapat dilihat bahwa terdapat data yang keluar dari batas atas dan batas bawah, sehingga ini menunjukkan bahwa prosesnya tidak stabil atau berada di luar kendali. Data yang memenuhi nilai target rata-rata 63,64%, dibawah target 9,09%, keluar batas atas (UCL) 9,09%, keluar batas bawah (LCL) 18,18%.



Gambar 8. R-Chart Kolom C2 Fc' 40 MPa Umur 28 Hari

Berdasarkan R-chart pada gambar 8, kolom fc' 40 MPa dapat dilihat bahwa prosesnya terkendali dengan data yang memenuhi nilai target rata-rata 45,45%, dibawah target rata-rata 54,55%.

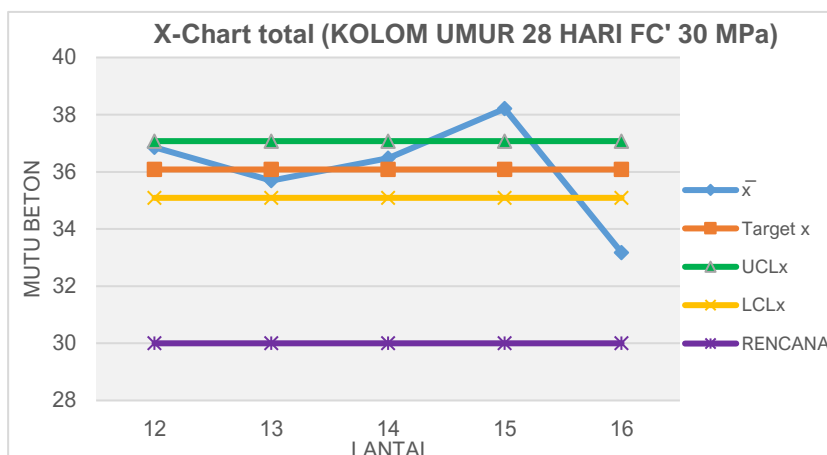
3) Kolom Fc' 30 MPa

Berikut ini merupakan tabel hasil hitungan pada kolom di lantai 12 sampai 16 dengan mutu fc' 30 MPa pada umur 28 hari

Tabel 4. Rekap Mutu Kolom C2 fc' 30 MPa umur 28 hari

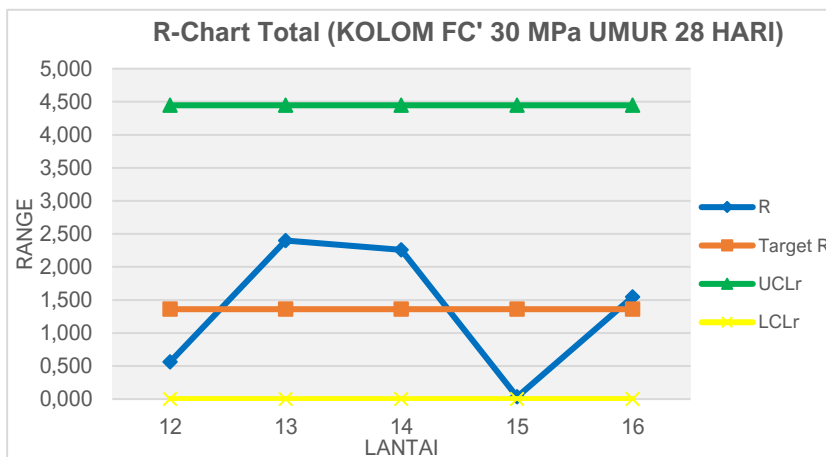
REKAP MUTU KOLOM UMUR 28 HARI (FC' 30 MPa)											
SAMPLE	x1	x2	x3	x4	\bar{x}	R	UCLx	LCLx	RENC	$(x-\bar{x})$	$(x-\bar{x})^2$
LT. 12	36,65	37,14	37,05	36,57	36,85	0,56	37,07	35,09	30	0,772	0,5964
LT. 13	37,05	35,89	34,65	35,19	35,69	2,40	37,07	35,09	30	-0,387	0,1495
LT. 14	36,29	37,90	36,06	35,64	36,47	2,26	37,07	35,09	30	0,392	0,1540
LT. 15	38,21	38,22	38,21	38,19	38,21	0,03	37,07	35,09	30	2,126	4,5180
LT. 16	32,28	33,64	32,96	33,83	33,18	1,54	37,07	35,09	30	-2,904	8,4308
				\bar{x}	36,08	1,36				0	13,8486

Data hasil perhitungan pada tabel 4 kemudian dijadikan sebuah *control chart* berupa *x-chart* dan *R-chart* seperti pada gambar 9.



Gambar 9. X-Chart Kolom C2 Fc' 30 MPa Umur 28 Hari

Berdasarkan *X-chart* pada gambar 9, kolom Fc' 30 MPa mutu beton pada lantai 12 sampai lantai 16 telah memenuhi mutu rencana yang ditentukan, sedangkan apabila dianalisis menggunakan SQC dapat dilihat bahwa terdapat data yang keluar dari batas atas dan batas bawah, sehingga ini menunjukkan bahwa prosesnya tidak stabil atau berada di luar kendali. Data yang memenuhi nilai target rata-rata sebesar 40%, dibawah target 20%, keluar batas atas (UCL) 20%, keluar batas bawah (LCL) 20%.



Gambar 10. R-Chart Kolom C2 Fc' 30 MPa Umur 28 Hari

Berdasarkan R-chart pada gambar 10, kolom Fc' 30 MPa dapat dilihat bahwa prosesnya terkendali dengan data yang memenuhi nilai target rata-rata sebesar 60%, dibawah target rata-rata 40%.

Berdasarkan hasil analisis dari pelat, balok dan kolom pada semua lantai, rangkuman terhadap hasil analisis *X-chart* dan *R-chart* dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Analisis Mutu Beton Berdasarkan *X-Chart* Dan *R-Chart*

Struktur	<i>X-Chart</i>					<i>R-Chart</i>			
	Mutu Beton (MPa)	Target		Melampaui Nilai		Target		Melampaui Nilai	
		Sesuai	Tidak sesuai	Batas Bawah	Batas Atas	Sesuai	Tidak sesuai	Batas Bawah	Batas Atas
Pelat & Balok	30	43,75%	25%	18,75%	12,5%	43,75%	56,25%	-	-
Kolom	40	63,64%	9,09%	9,09%	18,18%	45,45%	54,55%	-	-
	30	40%	20%	20%	20%	60%	40%	-	-

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada data uji kuat tekan beton, didapat hasil bahwa mutu beton komponen struktur dari lantai 1 sampai 16 telah memenuhi rencana. Mutu beton sudah sesuai target rata-rata berdasarkan *X-chart* ataupun *R-chart*, dan ada yang masih dibawah target rata-rata tapi masih diatas mutu rencana. Akan tetapi berdasarkan analisis SQC yang telah dilakukan terdapat variabilitas yang besar diantara data kuat tekan beton ini pada setiap lantai. Ini dapat dilihat dengan adanya beberapa lantai yang keluar batas atas (UCL) dan batas bawah (LCL) berdasarkan *X-chart* sedangkan berdasarkan *R-chart* semua berada pada batas control dan tidak ada yang melampaui batas. Sehingga dari hasil analisis tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa berdasarkan *X-chart* untuk struktur pelat, balok dan kolom pada semua lantai telah memenuhi mutu rencana, akan tetapi prosesnya tidak stabil atau berada di luar kendali. Sedangkan berdasarkan *R-chart* dapat diambil kesimpulan bahwa pada pelat, balok dan kolom semua lantai berada pada proses yang stabil dan terkendali.

Besarnya variabilitas pada data kuat tekan beton yang telah diuji, hal ini diindikasikan terjadi karena beberapa hal diantaranya faktor air semen, perawatan beton (*curing*) dan kualitas

pelaksanaan yang kurang sempurna. Akan tetapi meskipun variabilitas antar data kuat tekan beton ini besar, semua nilai uji kuat tekan beton dari semua lantai telah memenuhi rencana yang ditetapkan, sehingga dapat disimpulkan bahwa mutu beton telah memenuhi syarat. Sedangkan apabila dilakukan evaluasi dan menunjukkan mutu beton tidak memenuhi syarat maka Tindakan yang diambil adalah melakukan analisis untuk menjamin bahwa tahanan struktur dalam memikul beban masih dalam batas aman (analisa kemampuan beban layak actual), jika analisis menunjukkan bahwa kekuatan struktur berkurang signifikan maka dilakukan uji contoh beton inti (coring) pada lokasi yang bermasalah. Apabila hasil uji masih tidak memenuhi syarat maka Langkah yang dilakukan yaitu melakukan uji beban, perkuatan pada struktur yang bermasalah dan melakukan pembongkaran lalu di cor ulang pada struktur yang bermasalah.

5. KESIMPULAN

Mutu beton dari komponen struktur gedung yaitu pelat, balok dan kolom dari lantai 1 sampai 16 telah memenuhi mutu rencana.

Berdasarkan *X-chart* untuk pelat dan balok f_c' 30 MPa terdapat data yang keluar dari batas, ini menunjukkan bahwa prosesnya tidak stabil atau di luar kendali. Data yang memenuhi nilai target rata-rata sebesar 43,75%, dibawah target 25%, keluar batas atas (UCL) 18,75%, keluar batas bawah (LCL) 12,5%, sedangkan berdasarkan R-chart menunjukkan prosesnya terkendali dengan data yang memenuhi nilai target rata-rata sebesar 43,75%, dibawah target 56,25%.

Berdasarkan *X-chart* untuk Kolom f_c' 40 MPa terdapat data yang keluar dari batas, sehingga ini menunjukkan bahwa prosesnya tidak stabil atau berada di luar kendali. Data yang memenuhi nilai target rata-rata 63,64%, dibawah target 9,09%, keluar batas atas (UCL) 9,09%, keluar batas bawah (LCL) 18,18%. Sedangkan berdasarkan R-chart menunjukkan prosesnya terkendali dengan data yang memenuhi nilai target rata-rata 45,45%, dibawah target rata-rata 54,55%.

Berdasarkan *X-chart* untuk kolom F_c' 30 MPa terdapat data yang keluar dari batas, ini menunjukkan bahwa prosesnya tidak stabil atau di luar kendali. Data yang memenuhi nilai target rata-rata sebesar 40%, dibawah target 20%, keluar batas atas (UCL) 20%, keluar batas bawah (LCL) 20%. Sedangkan berdasarkan R-chart menunjukkan prosesnya terkendali dengan data yang memenuhi nilai target rata-rata sebesar 60%, dibawah target rata-rata 40%.

Besarnya variabilitas pada data kuat tekan beton yang telah diuji, hal ini diindikasikan terjadi karena beberapa hal diantaranya faktor air semen, perawatan beton (*curing*) dan kualitas pelaksanaan yang kurang sempurna. Pada mutu beton yang tidak memenuhi syarat maka tindakan yang diambil adalah melakukan analisis untuk menjamin bahwa tahanan struktur dalam memikul beban masih dalam batas aman (analisa kemampuan beban layak actual), jika analisis menunjukkan bahwa kekuatan struktur berkurang signifikan maka dilakukan uji contoh beton inti (coring) pada lokasi yang bermasalah. Apabila hasil uji masih tidak memenuhi syarat maka Langkah yang dilakukan yaitu melakukan uji beban, perkuatan pada struktur yang bermasalah dan melakukan pembongkaran lalu di cor ulang pada struktur yang bermasalah.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] F. R. Harahap, "Dampak Urbanisasi Bagi Perkembangan Kota Di Indonesia," *Society*, vol. 1, no. 1, pp. 35–45, 2013, doi: 10.33019/society.v1i1.40.
- [2] N. Manabung, A. K. T. Dundu, and D. R. O. Walangitan, "Sistem Pengawasan Manajemen Mutu Dalam Pelaksanaan Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Laboratorium Fakultas Teknik Unsrat)," *J. Sipil Statik*, vol. 6, no. 12, pp. 1079–1084, 2018.
- [3] P. G. B. Artha, I. B. R. Adnyana, and I. A. R. Widhiawati, "Implementasi Sistem Manajemen Mutu ISO 9001: 2008 Pada Proyek Alaya Resort Ubud," vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2013.
- [4] A. Husen, *Manajemen Proyek, Perencanaan, Penjadwalan & Pengendalian Proyek*, vol. edisi II, no. Perencanaan, Penjadwalan, Pengendalian Proyek. 2011.
- [5] K. Usman and R. Widyawati, "Pengendalian Mutu Beton Ready Mix Pada Batching Plant Dengan Menggunakan Statistical Quality Control," *J. Rekayasa*, vol. 15, no. 3, 2011.

- [6] A. Suwandi, "Pengendalian Kualitas Beton Melalui Pengujian Kuat Tekan Dengan Metode Design Of Experiment (DOE)," *J. Inovisi™*, vol. 8, no. 1, pp. 30–41, 2012.
- [7] M. Aichouni, N. A. Messaoudene, M. Touahmia, and A. Al-ghonamy, "International Journal of Advanced and Applied Sciences Statistical analysis of concrete strength variability for quality assessment : Case study of a Saudi construction project," vol. 4, no. 7, pp. 101–109, 2017.
- [8] P. P. Hutomo, "Pengendalian Kualitas dengan SPC (Statistical Process Control) untuk Mutu Beton pada Proyek Apartment Biz Square," 2018.
- [9] M. Huda et al., "Pengendalian Kualitas Produk Dengan Menggunakan Metode Statistical Process Control," vol. 9, no. 2, pp. 173–182, 2021.
- [10] SNI 2847, "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," *Standar Nas. Indones.*, no. 8, p. 720, 2019.
- [11] SNI 1974, "SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder," *Badan Stand. Nas. Indones.*, p. 20, 2011.
- [12] B. I. A. Muttaqin, "Telaah Kajian dan Literature Review Design of Experiment (DoE)," *J. Adv. Inf. Ind. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 33–40, 2019, doi: 10.52435/jaiit.v1i1.10.
- [13] V. Gasperz, *Pedoman Implementasi program Six Sigma Terintegrasi Dengan ISO 9001:2000, MBNQA, dan HACCP*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka, 2002.
- [14] Y. M. Wang, K. S. Chin, G. K. K. Poon, and J. B. Yang, "Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean," *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 2 PART 1, pp. 1195–1207, 2009, doi: 10.1016/j.eswa.2007.11.028.
- [15] D. C. Montgomeri, *Introduction to Statistical Quality Control*, 3rd ed. New York: Jhon Willey and Son, 1996.