

PENGENDALIAN KUALITAS BETON MELALUI PENGUJIAN KUAT TEKAN DENGAN METODE DESIGN OF EXPERIMENT (DOE)

Arief Suwandi

Jurusan Teknik Industri Universitas Esa Unggul, Jakarta
Jalan Arjuna Utara 9, Tol Tomang Kebun Jeruk, Jakarta 11510
arief.suwandi@esaunggul.ac.id

Abstrak

Kualitas beton yang akan digunakan haruslah mempunyai standart kualitas yang telah ditetapkan, pada proyek PLTU Ampel Gading dimana beton digunakan sebagai pondasi adalah tipe K-175 dengan standar kuat tekan sebesar 175 kg/cm^2 . Permasalahan yang timbul apakah semua beton pondasi yang disuplai memiliki kualitas yang standar? Sifat-sifat beton keras yang penting adalah kekuatan karakteristik, kekuatan tekan, tegangan regangan, susut rangkai, reaksi terhadap temperatur, keawetan dan kedekatan terhadap air. Dari sifat-sifat tersebut yang terpenting dan berkaitan dengan kekuatan beton adalah kekuatan tekan. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan *Hummer test*. Dalam hal ini kuat tekan beton merupakan gambaran mutu beton yang kaitannya dengan struktur beton, alasan lain kuat tekan beton merupakan parameter penting karena beton tahan terhadap tekanan daripada tarikan. Menggunakan Metode Design Of Eksperiment (DOE) dihasilkan bahwa Nilai kuat tekan beton lebih dipengaruhi oleh faktor penyiraman dan lama pengeringan. Rata-rata nilai kuat tekan beton sebesar 175,33. Ini berarti kualitas beton yang dihasilkan sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Kata kunci : kualitas, DOE, kuat tekan

Pendahuluan

Beton atau *concrete* adalah material dasar yang diperlukan untuk berbagai jenis pekerjaan konstruksi di antaranya gedung, jembatan, bendungan, dan lain-lain. Material ini adalah campuran dari agregat halus dan kasar (pasir, batu krikil, batu pecah, atau jenis agregat lain) dengan semen yang dipersatukan oleh air dalam perbandingan tertentu yang dicampur dalam suatu tempat atau ruangan sehingga berbentuk pasta dan akan membeku atau mengeras, menjadi produk baru yang memiliki kekerasan tertentu sehingga mampu menerima beban tekan atau berat tertentu.

Untuk menghasilkan beton yang berkualitas diperlukan bahan atau material dengan mutu yang baik pula, di samping faktor-faktor lain seperti komposisi bahan, cara pembuatan, keadaan lingkungan pada saat pembuatan, kondisi natural agregat, dan sebagainya. Oleh sebab itu pengetahuan akan bahan dan kondisi yang mempengaruhinya sangat diperlukan untuk mendapatkan beton dengan sifat-sifat yang diinginkan. Pada tugas penelitian ini ingin diketahui hal apa saja

yang dapat mempengaruhi sifat kuat tekan maksimum dari beton.

Sebagai bahan konstruksi, beton digunakan lebih banyak dari bahan kayu dan bahan lainnya, sebagian besar bahan kayu digunakan sebagai bekisting dalam pembuatan konstruksi beton. Penggunaan beton bersaing dengan bahan-bahan lainnya seperti kayu, baja, aspal, batu, plastis dan sebagainya, karena penggunaannya mudah dibentuk.

Beton dapat dicetak menurut bentuk yang dikehendaki. Beton dapat dicetak dalam lingkungan parabol, koloni dan *shell hiperbolik*, atau bentuk *masive* (dam), *pier* dan *abutmen*. Keuntungan lain dari konstruksi beton adalah material yang digunakan seperti kerikil dan batu pecah mudah diperoleh dimana-mana sehingga harganya relatif murah.

Beton yang bermutu baik merupakan material yang sangat awet dan bebas dari pemeliharaan untuk beberapa tahun. Berbeda dengan elemen struktur baja, elemen struktur beton tidak perlu proteksi *coating* untuk mencegah karatan. Bahan beton juga tahan

terhadap kebakaran. Pembuatan beton konstruksi hanya mencampur dan memadatkan tanpa adanya proses lain sehingga energi *cost* nya murah.

Permasalahan

PT. Amarta Karya (AMKA) ditunjuk sebagai kontraktor pelaksana pekerjaan Proyek PLTU Ampel Gading Malang, oleh PT. PLN sebagai *owner*, yang kemudian mempercayakan kepada PT. Surya Beton untuk menyediakan semen mix yang siap pakai. Maka, sudah seharusnya PT AMKA sendiri harus mampu menjaga komitmen mengenai mutu pekerjaan yang baik sesuai dengan kualitas yang ditetapkan dalam kontrak kerja yang telah disepakati, demikian juga dengan PT. Surya Beton. Dasar penilaian atas kualitas kerja ini akan menjadi bahan evaluasi untuk kelanjutan pekerjaan berikutnya serta kompensasi pembayaran yang telah disepakati.

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas penelitian ini adalah berkaitan dengan kualitas beton yang akan digunakan sebagai pondasi. Setiap semen yang keluar dari tempat pengolahan PT. Surya Beton harus mempunyai kualitas yang sesuai dengan standart yang telah ditetapkan dimana dalam proyek ini sebagian besar produk yang dibutuhkan adalah tipe K-175 dengan standar kuat tekan sebesar 175 kg/cm^2 .

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan Penelitian dilakukan adalah ingin diketahui hal apa saja yang dapat mempengaruhi sifat kuat tekan maksimum dari beton.

Metode Penelitian

Eksperimen dilakukan dalam upaya mengungkap kebenaran atau membuktikan suatu hipotesis. Eksperimen sesungguhnya didefinisikan sebagai suatu studi yang mempelajari pengaruh manipulasi variabel-

variabel bebas terhadap variabel-variabel tak bebas. Sebelum melakukan suatu eksperimen dilakukan perancangan eksperimen itu sendiri. Adapun langkah-langkahnya terbagi dalam 3 (tiga) garis besar yaitu :

1. Eksperimen

Pada tahap ini mula-mula dilakukan perumusan masalah, pemilihan variabel respon atau variabel tak bebas, penentuan faktor yang akan divariasikan dan pemilihan level dari tiap-tiap faktor tersebut.

2. Desain

Tahap kedua merupakan tahap utama yang berupa penentuan jumlah pengamatan yang akan dilakukan, penetapan urutan pelaksanaan eksperimen, pemilihan metode randomisasi yang dipakai, penyusunan model matematis dan penentuan hipotesis yang akan diuji.

3. Analisis

Merupakan kelanjutan dari tahap sebelumnya yang berisi pengumpulan dan pengolahan data, penghitungan uji statistik dan interpretasi hasil eksperimen.

Percobaan Faktorial Dua Faktor (*Two-Factors Factorial Experiment*)

Factorial experiment adalah suatu eksperimen di mana semua level atau tingkat dari satu faktor dikombinasikan dengan seluruh level dari tiap-tiap faktor yang lain. Untuk eksperimen faktorial tiga faktor (*three-factors factorial experiment*) dengan n pengamatan tiap sel yang dilakukan secara random, model matematisnya adalah:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \epsilon_{l(ijk)}$$

di mana A, B, dan C merupakan faktor-faktor yang diamati, $i = \text{level } 1, 2, \dots, a$ dari faktor A, $j = \text{level } 1, 2, \dots, b$ dari faktor B, $k = \text{level } 1, 2, \dots, c$ dari faktor C, dan $l = 1, 2, \dots, n$ pengamatan tiap sel. Hasil pengamatan dicatat dalam suatu tabel sebagai berikut :

		FAKTOR A									
		A ₁					A _a			
		FAKTOR C			FAKTOR C			FAKTOR C			
		C ₁	...	C _c	C ₁	...	C _c	C ₁	...	C _c	
FAKTOR B	B ₁	a ₁ b ₁ c ₁			a ₁ b ₁ c ₁			a ₁ b ₁ c ₁			T _{1.1}
										T _{(i-1).}
	B _b			a ₁ b _b c _c			a ₁ b _b c _c		a ₁ b _b c _c		T _{.j}
		T _{1.1}	T _{1.(k-1)}	T _{1.k}	T _{(i-1).1}	T _{(i-1).(k-1)}	T _{(i-1).k}	T _{i.1}	T _{i.(k-1)}	T _{i.k}	
		T _{1..}			T _{(i-1)..}			T _{i..}			T _{...}

Setelah data-data percobaan terkumpul, kemudian dilakukan analisis variansi dan hasilnya disusun seperti pada tabel berikut :

Source	Df	SS	MS
Faktor A _i	(a - 1)	$\frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a T_{i..}^2 - \frac{T_{...}^2}{abcn}$	$\frac{SS_A}{a - 1}$
Faktor B _j	(b - 1)	$\frac{1}{cn} \sum_{j=1}^b T_{.j.}^2 - \frac{T_{...}^2}{abcn}$	$\frac{SS_B}{b - 1}$
Faktor C _k	(c - 1)	$\frac{1}{an} \sum_{k=1}^c T_{..k}^2 - \frac{T_{...}^2}{abcn}$	$\frac{SS_C}{c - 1}$
Interaksi A x B	(a - 1)(b - 1)	$\sum_i \sum_j \frac{T_{ij.}^2}{n} - \frac{T_{...}^2}{abcn} - SS_A - SS_B$	$\frac{SS_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$
Interaksi A x C	(a - 1)(c - 1)	$\sum_i \sum_k \frac{T_{i.k}^2}{n} - \frac{T_{...}^2}{abcn} - SS_A - SS_C$	$\frac{SS_{AC}}{(a - 1)(c - 1)}$
Interaksi B x C	(b - 1)(c - 1)	$\sum_j \sum_k \frac{T_{.jk}^2}{n} - \frac{T_{...}^2}{abcn} - SS_B - SS_C$	$\frac{SS_{BC}}{(b - 1)(c - 1)}$
Interaksi A x B x C	(a - 1)(b - 1)(c - 1)	$\sum_i \sum_j \sum_k \frac{T_{ijk}^2}{n} - \frac{T_{...}^2}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C$	$\frac{SS_{ABC}}{(a - 1)(b - 1)(c - 1)}$
Error ε _(ijk)	abc(n - 1)	$SS_E = SS_T - SS_{ABC} - SS_A - SS_B - SS_C$	$\frac{SS_{error}}{abc(n - 1)}$
Total	abcn - 1	$\sum_i \sum_j \sum_k \sum_l T_{ijkl}^2 - \frac{T_{...}^2}{abcn}$	

Langkah-langkah dalam pengujian hipotesis adalah :

1. Ho : Tidak ada perbedaan antara perlakuan dalam satu faktor
2. H1 : Terdapat perbedaan pada perlakuan dalam satu faktor
3. Daerah kritis : $F_{hitung} > F_{\alpha(v_1, v_2)}$ di mana v_1 : df *factor*, dan v_2 : df *error*
4. Uji statistik :

$$F_{hitung} = \frac{MS_A}{MS_{Error}}$$

5. Kesimpulan : Apabila nilai F hitung lebih besar dari nilai F tabel maka tidak ada alasan untuk menolak Ho yang berarti tidak ada perbedaan dalam perlakuan tersebut (terima Ho)

Untuk menguji hipotesis adanya interaksi di antara ketiga faktor, langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Ho : Tidak ada interaksi antara faktor A, B, dan C
2. H1 : Terdapat interaksi antara faktor A, B, dan C
3. Daerah kritis : $F_{hitung} > F_{\alpha(v_1, v_2)}$ di mana $v_1 = df$ *interaction* dan $v_2 = df$ *error*
4. Uji statistik :

$$F_{hitung} = \frac{MS_{interaksi}}{MS_{Error}}$$

5. Kesimpulan : Apabila nilai F lebih kecil dari nilai F tabel maka Ho diterima yang berarti tidak ada interaksi di antara faktor pengamatan.

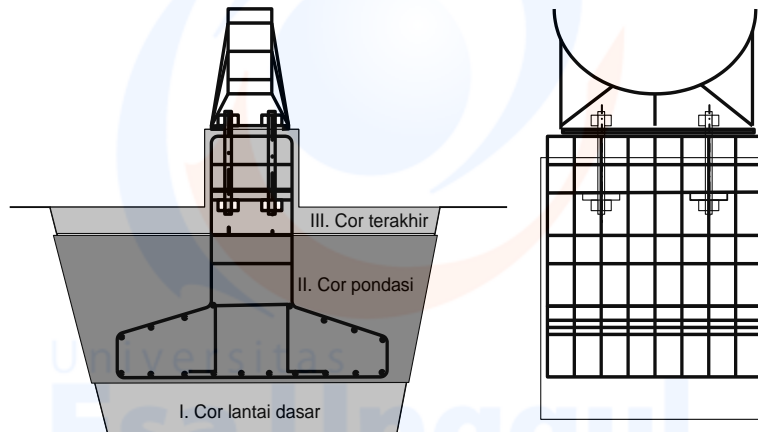
Pengumpulan dan Pengolahan Data Pekerjaan Proyek (Proyek PLTA Ampelgading-Malang)

Pekerjaan sipil berupa galian tanah pada area *upstream* dan *downstream*, pondasi *saddle support*, *achor block* dan penimbunan pipa.

Elevasi muka tanah pada pekerjaan sipil sangat membantu dalam penyetingan pipa, apabila terjadi perbedaan elevasi maka akan mengalami kesulitan dalam pemasangan pipa jadi pekerjaan sipil dan mekanikal saling berhubungan satu dengan yang lainnya.

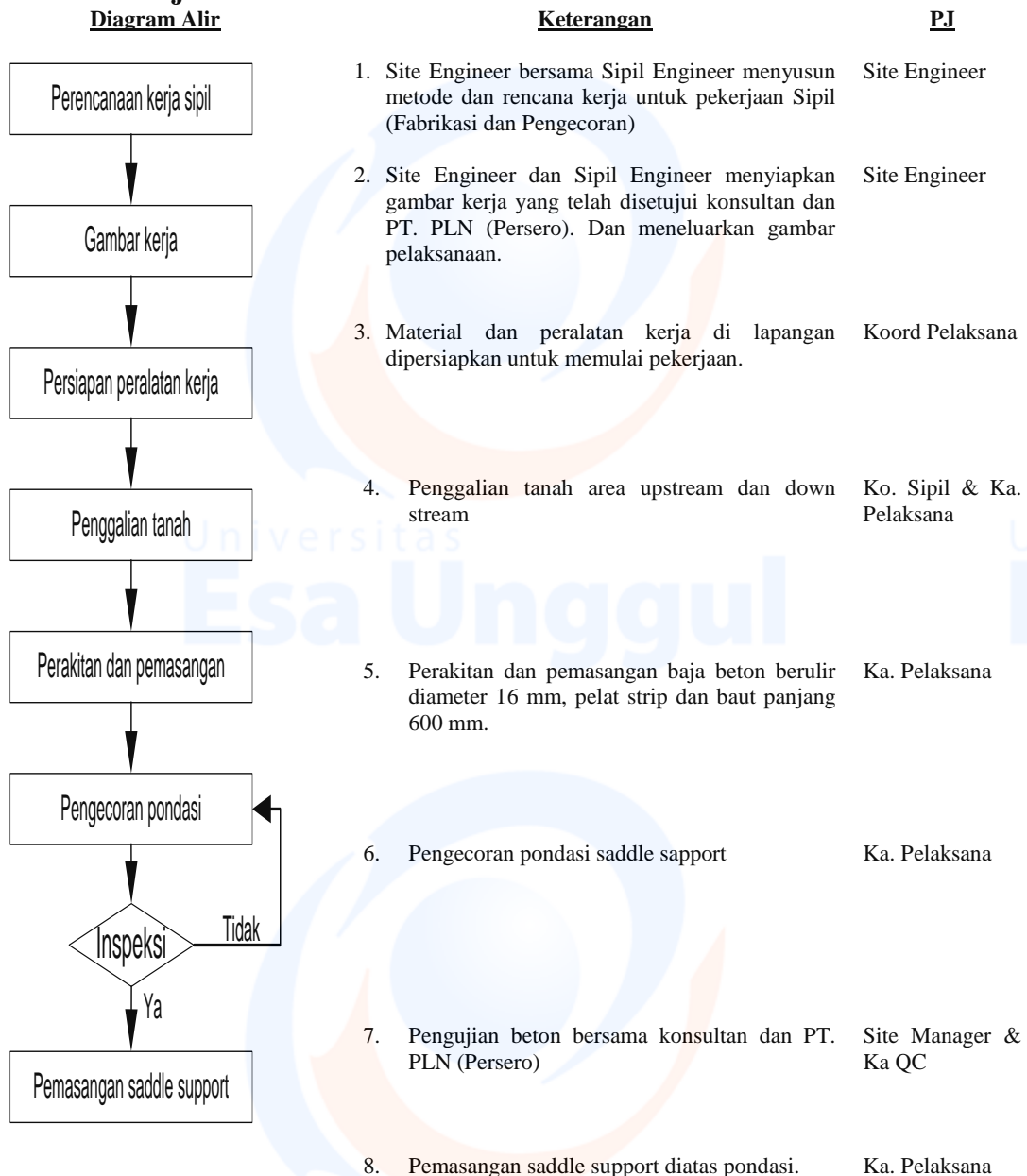
1. Galian tanah pada area *upstream* meliputi galian untuk pipa tertanam sepanjang 197,74 m dengan lebar 5 meter, *galian saddle support* sebanyak 11 buah dan *galian achor block* sebanyak 11 buah sepanjang 113,37 meter. Penggalian untuk pipa tertanam dilaksanakan dengan bantuan alat berat (*excavator*) sedangkan *achor block* dengan menggunakan tenaga manusia. Area *downstream* digali secara manual untuk dudukan *saddle support* sebanyak 32 buah dan *achor block* sebanyak 10 buah sepanjang 312,39 meter.
2. Pondasi *saddle support* didesain dan dibuat sekuat mungkin agar dapat menahan beban pipa, oleh karena itu dilakukan dengan tiga metode yaitu:
 - a. Pertama mengecor lantai dasar agar dudukan besi *achor* dia. 16 mm rata.
 - b. Kedua mengecor bagian pondasi sebatas pemasangan pelat strip untuk dudukan ulir yang akan digunakan untuk mengikat *saddle support*.
 - c. Ketiga melanjutkan mengecor bagian sisa yang telah terpasang pelat strip dan ulir. Permukaan akhir dari coran harus rata agar tidak mengalami kesulitan dalam pemasangan *saddle support*.
3. Setelah pondasi selesai baru dilakukan pemasangan *saddle support* dan penyetingan pipa. Pengecoran dilakukan dengan metode *mixing* yaitu mencampurkan batu koral, semen, dan pasir atau yang lebih dikenal dengan campuran K-175.

Pada Proyek PLTA Ampelgading Malang, pengecoran dilaksanakan oleh PT. Surya Beton yang mempunyai fasilitas penyediaan dan pengujian bahan baku olahan tipe K-125, K-175 dan K-225. Untuk pengawasan di lapangan adalah oleh PT. AMKA dan PT. PLN (Persero) sebagai konsultan dan owner.



Gambar 1
Urutan pengecoran besi achor dia. 16 mm untuk saddle support

Diagram Alir Pekerjaan



Karakteristik kualitas dari produk beton siap pakai yang diinginkan oleh konsumen terletak pada kuat tekan dari produk itu sendiri. Pada saat ini pengendalian kualitas yang dilakukan oleh pihak perusahaan dilaksanakan pada proses inspeksi, dimana pengambilan sampel

dilakukan pada setiap *truck mixer* dengan ukuran sampel berbentuk kubus 20cm x 20cm atau silinder 30cm x 15cm. Dan pengujian sampel dilakukan dengan menggunakan *Hummer test* dilakukan pada hari ke 7, 14, dan 28 untuk sampel beton yang telah jadi atau mengeras.



Sejarah Perusahaan

Keberadaan PT Amarta Karya seperti saat ini tidak terlepas dari sejarah berdirinya yang cukup panjang. Menjelang tahun 1960, NV Lindeteves Stokvis dan Fa. De Vri'es Robbe, keduanya berkedudukan di Semarang, melakukan penggabungan / merger menjadi NV Constructie Werk Plaatsen De Vri'es Robbe Lindeteves, disingkat "Robbe Linde & Co" yang bergerak dalam bidang usaha pabrikasi konstruksi baja.

Pada tahun 1962 Perusahaan ini dinasionalisasi menjadi Perusahaan Negara dengan nama PT Amarta Karya dengan bidang usaha yang sama. Pada tahun 1972, status PN Amarta Karya diubah menjadi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Amarta Karya, yang berkedudukan di Jakarta. Sejak itu Perusahaan meluaskan bidang usahanya ke dalam konstruksi sipil, elektrik dan mekanikal, di samping konstruksi baja yang

sejak awal sudah merupakan *core business*-nya. Program perbaikan yang berkesinambungan dilakukan dalam upaya meningkatkan kinerja Perusahaan, diantaranya melalui restrukturisasi Keuangan dan Sumber Daya Manusia, penerbitan manual prosedur sesuai Sistem Manajemen Mutu ISO 9001 : 2000 dan pengelompokan bidang usaha menjadi Jasa Konstruksi Spesialis dan Industri Penunjang Konstruksi.

Dengan berbagai langkah tersebut Perusahaan dapat mempertahankan posisinya sebagai mitra yang dapat diandalkan dalam bidang usahanya dan memberikan harapan dapat meraih prospek masa depan yang lebih cerah.

Proses Pembuatan Beton

Suatu hal yang sangat penting dalam beton, adalah pelaksanaan pembuatan beton atau pengolahan beton. Pengolahan beton

terdiri dari menakar (menimbang) bahan-bahan, mengaduk/mencampur, mengangkut dari tempat mengaduk ketempat pengecoran, mencetak (memasukan aduk kedalam cetakan), memadatkan, dan memproses.

1. Penakaran (Penimbangan) Bahan-Bahan.
Penakaran bahan-bahan adalah pengambilan bahan-bahan untuk beton menurut takaran yang ditentukan. Takaran bahan dapat ditentukan menurut perbandingan berat atau perbandingan volume. Takaran yang tidak tepat dapat mengakibatkan kualitas beton yang dihasilkan kurang memenuhi syarat mutu.
2. Pengadukan Beton
Yang dimaksud pengadukan beton adalah proses pencampuran antara bahan-bahan dasar beton, yaitu semen, pasir, krikil, dan air dalam perbandingan yang telah ditentukan. Pengadukan dilakukan sedemikian rupa sampai adukan beton benar-benar homogen, warnanya tampak rata, kelecakan cukup (tidak terlalu cair tidak terlalu kental), tidak tampak adanya pemisahan butir (segregasi). Adukan beton yang kurang homogen akan dapat menghasilkan beton yang kurang baik kualitasnya. Pengadukan dapat dilakukan dengan dua tangan atau dengan mesin (molen).
3. Pengangkutan Beton
Pengangkutan aduk beton dari tempat mencampur ke tempat pencetakan dapat dilakukan dengan berbagai cara dan alat. Beberapa jenis alat yang biasa digunakan untuk mengangkut beton cair adalah gerobak roda satu, kereta dorong, truk ringan, *conveyor*, dan sebagainya.
4. Pengecoran /Penuangan Aduk Beton
Agar mendapatkan beton yang baik, usahakan selama pengecoran tidak terjadi segregasi pada betonnya, sebab pengecoran yang baik akan menghasilkan beton yang berkualitas baik.
5. Pemadatan Beton
Pada pemadatan beton diusahakan untuk mendapatkan beton yang betul-betul padat, tanpa sarang kerikil, tetap homogen dan semua ruangan terisi. Cara

pemadatan dapat dilakukan dengan tangan atau dengan alat penggetar.

6. Perawatan Beton (Curing)
Perawatan beton (*Curing*) adalah suatu langkah/tindakan untuk memberikan kesempatan pada beton mengembangkan kekuatannya secara wajar dan sesempurna mungkin. Untuk itu maka pekerjaan beton perlu dijaga untuk menjaga agar permukaan beton selalu lembab. Kelembaban beton itu perlu dijaga agar proses hidrasi semen dapat berlangsung dengan wajar dan berlangsung dengan sempurna.

Variabel Respon

Kekuatan tekan adalah sifat paling penting dari beton. Kekuatan tekan adalah sifat kemampuan menahan atau memikul suatu beban tekan. Istilah "*Strength*" atau kekuatan pada beton selalu dimaksudkan dengan *compressive strength* yaitu kekuatan tekan. Hal ini disebabkan beton normalnya dipakai untuk memberikan kekuatan tekan, demikian pula sifat-sifat beton yang lain, misalnya "*durability*" (ketahanan) selalu didasarkan pada kekuatan beton.

Penentuan Faktor

Faktor penentu yang digunakan dalam penelitian ini difokuskan pada beberapa hal yang dapat diamati di proyek, dimana untuk komposisi material sudah diasumsikan telah sesuai standar tipe K-175 yang disepakati dan dibuat langsung di pabrik PT. Surya Beton, demikian juga dengan proses pencampuran dan pengadukannya. Berikut adalah faktor-faktor yang dianggap mempengaruhi kualitas beton yang digunakan beserta dengan level atau derajat yang ada:

1. Pengaruh jam kedatangan material beton, dimana terdapat 2 periode kedatangan dari *truck mixer* pengangkut beton untuk setiap harinya, yaitu:
 - a. Pagi hari
 - b. Siang hari
2. Pengaruh perlakuan *curing* terhadap beton, dimana terdapat 3 macam perlakuan yang akan dikenakan terhadap sampel atau benda uji, yaitu
 - a. Benda uji dibiarkan saja

- b. Benda uji disiram 1 kali sehari
- c. Benda uji disiram 2 kali sehari
3. Pengaruh lama pengeringan, dimana terdapat 3 periode untuk melakukan pengujian terhadap sampel atau benda uji, yaitu
 - a. Hari ke-7
 - b. Hari ke-14
 - c. Hari ke-28

Adapun pengujiannya mengacu pada standar pengujian yang dikeluarkan oleh ASTM (*American Society for Testing and Materials*) di mana peraturan ini telah distandarkan menjadi SK.SNI yang dipergunakan sebagai pedoman dalam berbagai pekerjaan konstruksi.

Desain Jumlah Pengamatan

Pengujian untuk kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari untuk melihat kecenderungan perkembangan kuat tekan yang dicapai. Terdapat 3 macam perlakuan yang membutuhkan 3 sampel, dengan 2 periode kedatangan, serta replikasi sebanyak 2 kali, sehingga jumlah benda uji yang dibutuhkan seluruhnya adalah sebanyak 36 buah.

Urutan Eksperimen

Pengambilan sampel dilakukan secara acak terhadap material beton yang dibawa oleh *truck mixer* untuk setiap kedatangan setiap harinya selama 3 hari. Pengambilan sampel 1 dilakukan pada sebuah *truck mixer* yang datang pada periode pagi serta dipilih secara acak, dan diambil sebanyak 6 benda uji. Sedang pengambilan sampel 2 dilakukan pada sebuah *truck mixer* yang datang pada periode siang yang juga dipilih secara acak, sebanyak 6 benda uji. Hal yang sama akan dilakukan pada hari kedua dan ketiga hingga pekerjaan pengecoran telah selesai dilaksanakan. Maka total benda uji kita adalah sebanyak 6 sampel x 2 kedatangan x 3 hari = 36 sampel.

Model Matematis dan Hipotesis

Model yang digunakan adalah model untuk eksperimen faktorial tiga faktor (*three-*

factors factorial experiment) dengan 36 pengamatan tiap sel yang dilakukan secara random, model matematisnya adalah:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \varepsilon_{1(ijk)}$$

di mana A, B dan C merupakan faktor-faktor yang diamati, yaitu waktu kedatangan, perlakuan penyiraman, serta lama pengeringan.

Dalam analisis variansi ini akan diuji hipotesis bahwa periode kedatangan dan perlakuan penyiraman terhadap beton berakibat pada kualitas kuat tekannya. Untuk pengukuran kuat tekan hipotesis yang akan diuji kebenarannya adalah :

Ho₁ : Tidak ada perbedaan kuat tekan yang berarti dengan periode atau waktu kedatangan yang berbeda-beda

Ho₂ : Tidak ada perbedaan kuat tekan yang berarti dengan perlakuan penyiraman yang berbeda-beda

Ho₃ : Tidak ada perbedaan kuat tekan yang berarti dengan lama pengeringan yang berbeda-beda

Ho₄ : Tidak ada interaksi antara waktu kedatangan dan perlakuan penyiraman yang mempengaruhi kualitas tekan beton.

Ho₅ : Tidak ada interaksi antara waktu kedatangan dan lama pengeringan yang mempengaruhi kualitas tekan beton.

Ho₆ : Tidak ada interaksi antara perlakuan penyiraman dan lama pengeringan yang mempengaruhi kualitas tekan beton.

Ho₇ : Tidak ada interaksi antara waktu kedatangan, perlakuan penyiraman, dan lama pengeringan yang mempengaruhi kualitas tekan beton.

Langkah pertama dalam tahapan analisis ini adalah mengumpulkan data-data yang akan digunakan sebagai rancangan percobaan, yaitu data faktor atau perlakuan yang diberikan kepada unit eksperimen atau benda uji, dimana seperti telah diuraikan diatas terdapat tiga faktor perlakuan yang mempengaruhi kualitas kuat tekan beton. Data berikutnya adalah data tentang level atau

tingkat perlakuan pada masing-masing faktor seperti pada uraian berikut ini :

1. Waktu kedatangan, terdapat dua level yang digunakan, yaitu pagi dan siang
2. Penyiraman, terdapat tiga level yang digunakan, yaitu tidak ada penyiraman, setiap hari, serta dua hari sekali

3. Lama pengeringan, terdapat tiga level yang digunakan, yaitu hari ke-7, hari ke-14, serta hari ke-28.

Blok pengumpulan data dari hasil setiap pengujian dapat dilihat pada tabel hasil pengujian berikut ini:

Tabel 1
Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton (kg/cm²)

HASIL UJI		WAKTU KEDATANGAN					
		Pagi			Siang		
		LAMA PENGERINGAN			LAMA PENGERINGAN		
		hari-7	hari-14	hari-28	hari-7	hari-14	hari-28
PENYIRAMAN	Tidak	144	150	177	141	151	174
	Disiram	141	151	174	143	149	175
	Disiram	141	152	175	142	154	174
	Sekali	146	155	176	142	149	174
	Disiram	142	152	177	143	156	177
	Duakali	144	154	179	145	152	178

Penghitungan Uji Statistik

Untuk perhitungan statistik digunakan software Minitab. Hasil pengolahan data dengan bantuan software ini akan dianalisis

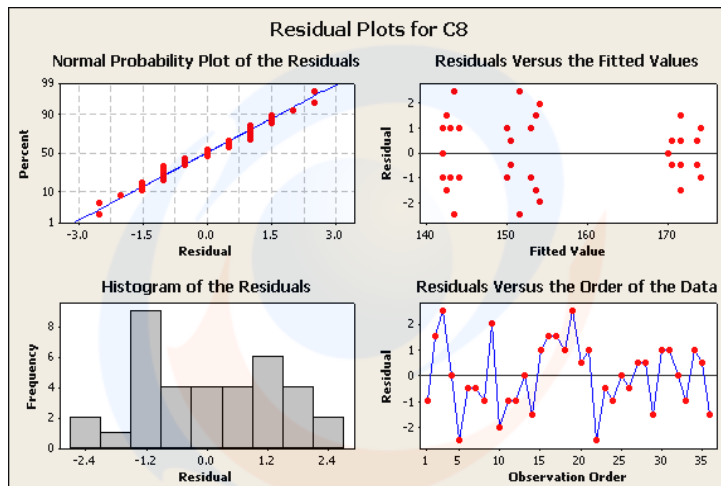
- Tabel Anova

Analysis of Variance for C8, using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
WAKTU	1	3.36	3.36	3.36	1.00	0.331	
PENYIRAMAN	2	36.17	36.17	18.08	5.38	0.015	
HARI	2	5266.50	5266.50	2633.25	783.45	0.000	
WAKTU*PENYIRAMAN	2	7.06	7.06	3.53	1.05	0.371	
WAKTU*HARI	2	0.72	0.72	0.36	0.11	0.899	
PENYIRAMAN*HARI	4	11.33	11.33	2.83	0.84	0.516	
WAKTU*PENYIRAMAN*HARI	4	1.11	1.11	0.28	0.08	0.987	
Error	18	60.50	60.50	3.36			
Total	35	5386.75					

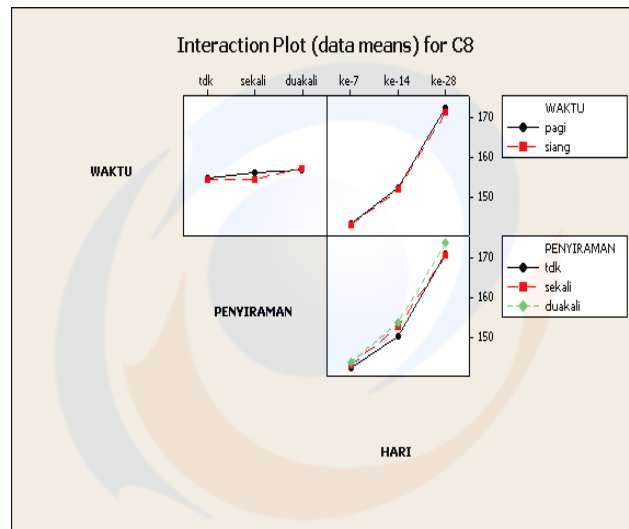
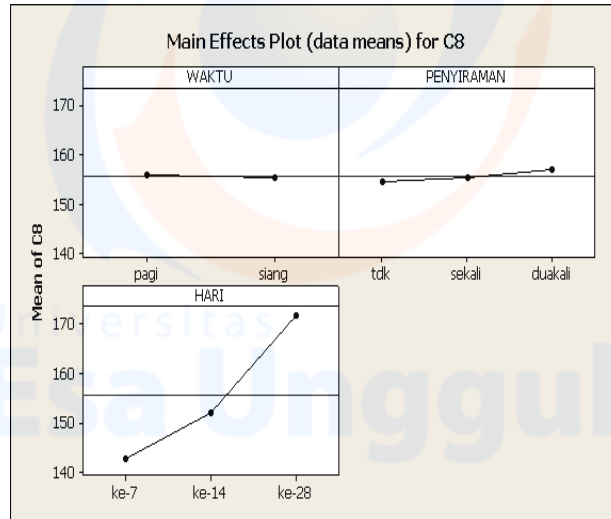
S = 1.83333 R-Sq = 98.88% R-Sq(adj) = 97.82%

dan dibahas pada bab ini. Berikut adalah hasil dari output Minitab berupa ANOVA, residual plots, serta interaksi untuk pengujian beton PT. AMKA dengan 3 faktor:

- Residual Plots



- Interaksi



Hipotesis nol pertama bahwa tidak ada perbedaan kuat tekan yang berarti dengan waktu kedatangan yang berbeda-beda diterima. Hal ini disebabkan karena nilai F hasil perhitungan lebih kecil dari F tabel (4,41). Ini berarti terdapat cukup bukti bahwa waktu kedatangan tidak mempengaruhi kuat tekan dari beton.

Hipotesis nol kedua menyatakan bahwa tidak ada perbedaan kuat tekan yang berarti dengan perlakuan penyiraman yang berbeda-beda. Nilai F hitung yang didapat lebih besar dari F tabel (3,55) sehingga hipotesis nol ditolak dan disimpulkan terdapat cukup bukti bahwa perlakuan penyiraman mempengaruhi kuat tekan dari beton.

Hipotesis nol ketiga menyatakan bahwa tidak ada perbedaan kuat tekan yang berarti dengan lama pengeringan yang berbeda-beda. Nilai F hitung yang didapat

lebih besar dari F tabel (3,55) sehingga hipotesis nol ditolak dan disimpulkan terdapat cukup bukti bahwa lama pengeringan mempengaruhi kuat tekan dari beton.

Hipotesis nol keempat bahwa tidak ada interaksi antara waktu kedatangan dan perlakuan penyiraman ditolak karena nilai F hitung lebih kecil dari F tabel (3,55). Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat interaksi dari kedua faktor tersebut yang mempengaruhi kekuatan tekan dari beton yang dihasilkan.

Hipotesis nol kelima bahwa tidak ada interaksi antara waktu kedatangan dan lama pengeringan ditolak karena nilai F hitung lebih kecil dari F tabel (3,55). Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat interaksi dari kedua faktor tersebut yang mempengaruhi kekuatan tekan dari beton yang dihasilkan.

Hipotesis nol keenam bahwa tidak ada interaksi antara perlakuan penyiraman dan lama pengeringan ditolak karena nilai F hitung lebih kecil dari F tabel (2,93). Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat interaksi dari kedua faktor tersebut yang mempengaruhi kekuatan tekan dari beton yang dihasilkan.

Hipotesis nol ketujuh bahwa tidak ada interaksi antara waktu kedatangan, perlakuan penyiraman, dan lama pengeringan ditolak karena nilai F hitung lebih kecil dari F tabel (2,93). Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat interaksi dari ketiga faktor tersebut yang mempengaruhi kekuatan tekan dari beton yang dihasilkan.

Analisa dan Pembahasan

Sifat-sifat beton keras yang penting adalah kekuatan karakteristik, kekuatan tekan, tegangan regangan, susut rangkai, reaksi terhadap temperatur, keawetan dan kedap terhadap air. Dari sifat-sifat tersebut yang terpenting dan berkaitan dengan kekuatan beton adalah kekuatan tekan. Dalam hal ini kuat tekan beton merupakan gambaran mutu beton yang kaitannya dengan struktur beton, alasan lain kuat tekan beton merupakan parameter penting adalah beton tahan terhadap tekanan daripada tarikan.

Kesimpulan

Tercapainya kuat tekan beton yang diinginkan akan memberikan kualitas kerja yang maksimal yang pada akhirnya menghasilkan produk yang bermutu tinggi. Dari hasil pengujian kuat tekan beton oleh PT. AMKA dan pengolahan data dengan software Minitab dapat diketahui bahwa nilai kuat tekan beton yang dihasilkan PT. Surya Beton lebih dipengaruhi oleh faktor penyiraman dan lama pengeringan, sedang faktor-faktor lainnya tidak mempengaruhinya. Semakin siang waktu kedatangan truk, semakin kecil nilai kuat tekan beton yang akan didapat meski perbedaannya relatif tidak besar. Semakin sering penyiraman dilakukan terhadap beton akan cukup meningkatkan nilai kuat tekan beton. Semakin lama pengeringan yang dilakukan, beton akan semakin matang yang akhirnya akan

meningkatkan nilai kuat tekan beton secara signifikan. Tidak ada interaksi antar faktor waktu kedatangan dan perlakuan penyiraman yang dapat mempengaruhi kuat tekan beton yang ada. Dari hasil statistik tabel Anova juga memperlihatkan suatu hal, yaitu nilai **R-Sq = 98.88%** dari tabel Anova juga berarti bahwa dari nilai kuat tekan beton yang ada dapat dijelaskan sebanyak 98,88% dari faktor-faktor yang ada, sedang sisanya oleh faktor-faktor lain. Dari gambar *residual plots* juga dapat dinyatakan bahwa galat (*error*) atau kesalahan yang ada terdistribusi secara normal dengan nilai rata-rata nol. Variansi dari galat atau kesalahan juga tidak berubah dengan adanya perbedaan level dari suatu faktor, atau sesuai dengan nilai prediksi variabel respon kuat tekan beton. Dari gambar histogram dapat dikatakan bahwa gambar menyerupai bentuk bel (*bell shape*) yang berarti data telah membentuk distribusi normal, yang juga berarti dapat digunakan untuk plot probabilitas normal. Dari gambar *order data* juga diperlihatkan bahwa pola yang ada adalah pola sembarang yang tidak beraturan sehingga dapat dikatakan data pengamatan yang diambil adalah acak atau random. Rata-rata nilai kuat tekan beton dari hasil pengujian untuk hari ke-28 adalah sebesar 175,33. Ini berarti kualitas beton yang dihasilkan PT. Surya Beton sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan PT. AMKA untuk beton tipe K-175. Nilai kuat tekan beton yang dihasilkan PT. Surya Beton ini lebih banyak dipengaruhi oleh faktor penyiraman dan lama pengeringan karena faktor-faktor ini mempengaruhi perkembangan kematangan beton dimana: Faktor penyiraman, faktor ini menyebabkan kelembaban beton lebih terjaga dimana kelembaban ini akan menyebabkan beton tidak menjadi cepat kering sehingga tidak menjadi getas dan mengurangi kuat tekannya. Semakin lembab kondisi beton akan mengurangi tingkat penguapan yang dapat menyebabkan beton menjadi cepat kering. Faktor lama pengeringan, faktor ini didasarkan atas umur beton setelah selesai dilakukan pengecoran. Semakin lama umur beton akan menyebabkan beton menjadi semakin matang, dimana rata-rata umur kematangan beton adalah diatas 28 hari. Jika

umur beton kurang dari umur kematangan 28 hari, akan menyebabkan beton menjadi belum matang sehingga kuat tekannya akan menjadi lebih kecil dari nilai kuat tekan yang diharapkan.

Daftar Pustaka

William R. Shadish, Thomas D. Cook, Donald Thomas Campbell, Experimental and Quasi-experimental Designs for Generalized Causal Inference, Houghton Mifflin, 2002

Aslam Kassimal, Structural Analysis, Fourth Edition, SI Amit Prashant, 2009.

Pere Grima Cintas, Lluís Marco Almagro, Xavier Tort-Martorell Llabres, Industrial Statistics with Minitab, John Wiley & Sons, 2011