

17.136/H/02

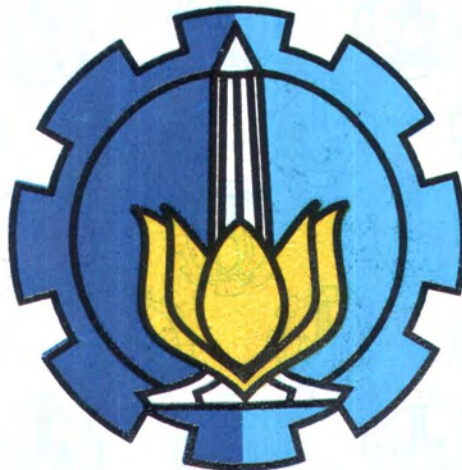


TUGAS AKHIR

**PENGENDALIAN KUALITAS DAN
PENENTUAN FAKTOR YANG BERPENGARUH
TERHADAP KEKUATAN TEKAN PADA
PROSES PRODUKSI BETON**

Oleh :

DYAH ROSYIDAH
NRP. 1294 100 029



RSMA
658.562
Ros
P-1

2001

**BIDANG STUDI MATEMATIKA TEKNIK
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2001**

Rp 30.000,-

PERPUSTAKAAN	
Tgl. Terima	13/03/01
Yang	H
No. Revisi	21.3241

TUGAS AKHIR

**PENGENDALIAN KUALITAS DAN
PENENTUAN FAKTOR YANG BERPENGARUH
TERHADAP KEKUATAN TEKAN PADA
PROSES PRODUKSI BETON**

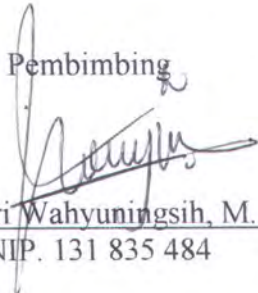
dipersiapkan dan diusulkan oleh

DYAH ROSYIDAH
NRP. 1294 100 029

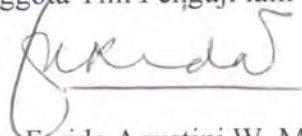
telah dipertahankan di depan tim penguji
Pada tanggal : 1 Februari 2001

Susunan Tim Penguji

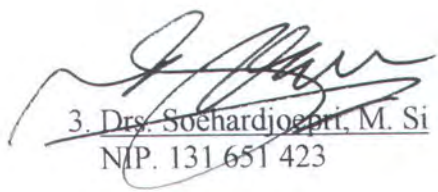
Pembimbing


Dra. Nuri Wahyuningsih, M. Kes
NIP. 131 835 484

Anggota Tim Penguji lain

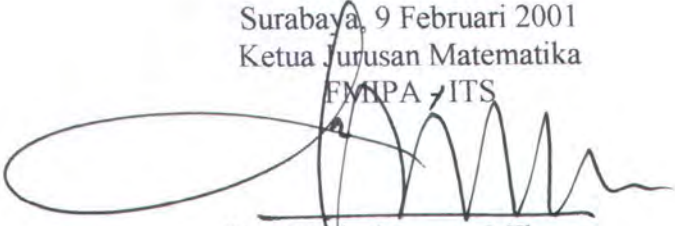

1. Dra. Farida Agustini W., MS
NIP. 130 987 718


2. Drs. Hariyanto, M. Si
NIP. 131 124 884


3. Drs. Soehardjoepri, M. Si
NIP. 131 651 423

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika

Surabaya, 9 Februari 2001
Ketua Jurusan Matematika
FMIPA - ITS


Drs. Chairul Imron, MlKomp
NIP. 131 688 310

*Kupersembahkan untuk :
Ayah, Ibu dan Suamiku tercinta
Ning, Mas dan Adikku tersayang
Serta orang-orang yang kucintai fillah*

ABSTRAK

PT Varia Usaha Beton merupakan salah satu anak perusahaan dari PT Varia Usaha Gresik, yang bergerak di bidang komponen bangunan, diantaranya adalah memproduksi beton.

Selama proses produksi berlangsung, ada suatu hal yang tidak dapat dihindari yaitu timbulnya variasi-variasi karakteristik produk akibat dari faktor-faktor yang berpengaruh. Untuk dapat menghasilkan produk dengan kualitas baik, maka perlu dilakukan pengendalian kualitas terhadap produk tersebut. Langkah awal adalah membuat grafik pengendali untuk mengetahui variabilitas proses, kemudian melakukan analisis kemampuan proses untuk mengetahui batas spesifikasi yang ada.

Desain Eksperimen yang dijalankan dalam penelitian ini bertujuan untuk menentukan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan tekan beton.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT karena hanya dengan kehendak-Nyalah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul : “Pengendalian Kualitas dan Penentuan Faktor yang Berpengaruh terhadap Kekuatan Tekan pada Proses Produksi Beton”.

Tugas Akhir ini dibuat sebagai syarat yang harus dipenuhi untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini, penulis tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Drs. Chairul Imron, MIkomp, selaku Ketua Jurusan Matematika serta semua dosen di Jurusan Matematika yang telah memberikan fasilitas dan membagi ilmu selama masa perkuliahan.
2. Ibu Dra. Nuri Wahyuningsih, M.Kes, selaku Dosen Pembimbing yang bersedia meluangkan waktu untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Bapak Drs. Hariyanto, M.Si, Bapak Drs. Inu Laksito Wibowo, MIkomp, Bapak Drs. Komar Baihaqi, M.Si, dan Bapak Drs. Lukman Hanafi, M.Sc, yang secara bergantian menjadi Dosen Wali.
4. Ayah, Ibu, ning Nany, mas Ikho’, ning Kiky dan Anna, serta mas Wahyu plus ade’ janin, mas Widodo dan mas Eko yang selalu melantunkan do’a dan memberikan dorongan dalam penyelesaian Tugas Akhir.

5. Direktur PT Varia Usaha Beton Waru Sidoarjo beserta semua karyawan dan karyawan, yang telah memberikan fasilitas selama penelitian.
6. Bapak Munif dan Bapak Bambang yang telah membantu dalam proses pengambilan data.
7. "Ummi" yang telah mentransfer dien al Islam kepada penulis.
8. Akhowat Kejawan Gebang 15 A (m' Ndari, m' Wanti, Anita, Zunaita, Lia, Anies dan Heksa), *eks* penghuni Perum ITS T-45 (m' Yayuk, m' Yay, Fitri, Pipiet dan Ratih), m' Rohmah, m' Tuti, m' Erina, m' Sa'diyah, m' Dwi, Aning, 'Athif, Nibri, Qonita, Shofiyya, Rekyan, Irma, Nurul beserta semua saudaraku yang telah memompakan semangat kepada penulis.
9. Teman-teman Matematika '94, terutama Indah, atas kenangan manisnya. Juga buat adik-adik Matematika '95 (Endah, Ana, Aik, Yeni, Nunun, dll), Matematika '97 (Anis, Yuvita, Nuning, Tini, dll), Matematika '99 (Gita, Atus, Nirmala, Desika, Irma dan Rani), dakwah ini akan semakin semarak bersama kalian.
10. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Akhirnya semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Februari 2001

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman judul	
Halaman pengesahan	... i
Halaman persembahan	... ii
ABSTRAK	... iii
KATA PENGANTAR	... iv
DAFTAR ISI	... vi
DAFTAR GAMBAR	... x
DAFTAR TABEL	... xi
DAFTAR LAMPIRAN	... xii
BAB I PENDAHULUAN	... 1
1.1 Latar Belakang	... 1
1.2 Perumusan Masalah	... 2
1.3 Tujuan	... 2
1.4 Manfaat	... 3
1.5 Batasan Masalah	... 3
1.6 Metodologi	... 4
BAB II LANDASAN TEORI	... 5
2.1 Pengambilan Sampel	... 5
2.2 Pengujian Distribusi	... 6
2.3 Pengendalian Kualitas	... 8
2.3.1 Pengendalian Proses	... 9
2.3.2 Grafik Pengendali	... 9

2.3.3 Jenis Grafik Pengendali	... 11
2.3.4 Prosedur Pembuatan Grafik Pengendali	... 12
2.3.5 Grafik Pengendali \bar{X}	... 13
2.3.6 Grafik Pengendali R	... 16
2.3.7 Analisis Pola Grafik Pengendali	... 17
2.3.8 Analisis Kemampuan Proses	... 20
2.4 Desain Eksperimen	... 23
2.4.1 Pengertian dan Prinsip Dasar Desain Eksperimen	... 24
2.4.2 Langkah-langkah Desain Eksperimen	... 25
2.4.3 Desain Eksperimen Faktorial 2^k	... 29
2.4.4 Uji Asumsi Residual	... 30
2.4.4.1 Plot Residual Independen	... 30
2.4.4.2 Plot Residual Identik	... 31
2.4.4.3 Plot Residual Berdistribusi Normal	... 31
2.4.5 Model dan Analisis Varians	... 32
2.4.6 Uji Student Newman Keuls	... 43
2.5 Kriteria Penerimaan Kualitas Beton menurut PBI 1971	... 45
BAB III METODOLOGI	... 46
3.1 Metode Pengumpulan Data	... 46
3.2 Identifikasi Pemecahan Masalah	... 47
3.3 Langkah-langkah Pemecahan Masalah	... 49
BAB IV DATA DAN ANALISIS DATA	... 53
4.1 Data Umum Proses Produksi Beton	... 53

4.2 Pengendalian Kualitas	... 58
4.2.1 Data Pengendalian Kualitas	... 58
4.2.2 Pengujian Distribusi	... 58
4.2.3 Grafik Pengendali \bar{X} dan R	... 60
4.2.4 Analisis Kemampuan Proses	... 63
4.2.5 Spesifikasi Beton menurut PBI 1971	... 64
4.3 Desain Eksperimen	... 65
4.3.1 Pemilihan Faktor dalam Proses Produksi	... 65
4.3.2 Pelaksanaan Eksperimen	... 67
4.3.3 Uji Asumsi Residual	... 67
4.3.4 Analisis Varians	... 68
4.3.5 Uji Student Newman Keuls (SNK) untuk Perlakuan yang Ber- pengaruh	... 74
4.3.5.1 Uji SNK untuk Faktor Lama Waktu Perawatan	... 75
4.3.5.2 Uji SNK untuk Interaksi Pasir dan Kerikil	... 76
4.3.5.3 Uji SNK untuk Interaksi Pasir dan Lama Waktu Peng- angkutan	... 77
4.3.5.4 Uji SNK untuk Interaksi Pasir dan Lama Waktu Pera- watan	... 78
4.3.5.5 Uji SNK untuk Interaksi Kerikil dan Lama Waktu Pe- rawatan	... 79
4.3.5.6 Uji SNK untuk Interaksi Lama Waktu Pengangkutan dan Lama Waktu Perawatan	... 80

4.3.5.7 Uji SNK untuk Interaksi Kerikil, Lama Waktu Pengangkutan dan Lama Waktu Perawatan	... 81
4.3.5.8 Uji SNK untuk Interaksi Pasir, Kerikil, Lama Waktu Pengangkutan dan Lama Waktu Perawatan	... 82
BAB V PEMBAHASAN	... 89
5.1 Pengendalian Kualitas	... 89
5.2 Analisis Kemampuan Proses	... 89
5.3 Analisis Desain Eksperimen	... 90
BAB VI KESIMPULAN	... 96
DAFTAR PUSTAKA	... 97
LAMPIRAN	... 99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pola Siklis dalam Grafik Pengendali	... 18
Gambar 2.2 Pola Campuran dalam Grafik Pengendali	... 18
Gambar 2.3 Pola Pergeseran dalam tingkat proses dalam Grafik Pengendali	... 19
Gambar 2.4 Pola Trend dalam Grafik Pengendali	... 19
Gambar 2.5 Pola Stratifikasi dalam Grafik Pengendali	... 20
Gambar 2.6 Distribusi F	... 34
Gambar 3.1 Flowchart alur pemecahan masalah	... 49
Gambar 4.1 Hasil plot batas-batas pengendalian	... 62
Gambar 4.2 Diagram <i>cause effect</i> proses produksi beton	... 66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kombinasi perlakuan Eksperimen Faktorial 2^4	... 33
Tabel 2.2	ANOVA untuk Eksperimen Faktorial 2^4	... 34
Tabel 2.3	Contoh soal penggunaan Metode Yates	... 35
Tabel 2.4	Tabel Tanda koefisien efek Eksperimen Faktorial 2^2	... 35
Tabel 2.5	Hasil perhitungan Analisis Varians	... 36
Tabel 4.1	Urutan proses produksi beton	... 53
Tabel 4.2	Data hasil eksperimen pengukuran kekuatan tekan beton	... 68
Tabel 4.3	Data Eksperimen Faktorial 2^4 (setiap sel telah dijumlahkan)	... 69
Tabel 4.4	ANOVA hasil Eksperimen Faktorial 2^4	... 70
Tabel 4.5	Hasil Uji SNK untuk Faktor Lama Waktu Perawatan	... 75
Tabel 4.6	Hasil Uji SNK untuk Interaksi Pasir dan Kerikil	... 76
Tabel 4.7	Hasil Uji SNK untuk Interaksi Pasir dan Lama Waktu Pengangkutan	... 77
Tabel 4.8	Hasil Uji SNK untuk Interaksi Pasir & Lama Waktu Perawatan	78
Tabel 4.9	Hasil Uji SNK untuk Interaksi Kerikil dan Lama Waktu Perawatan	... 79
Tabel 4.10	Hasil Uji SNK untuk Interaksi Lama Waktu Pengangkutan Dan Lama Waktu Perawatan	... 80
Tabel 4.11	Hasil Uji SNK untuk Interaksi Kerikil, Lama Waktu Pengangkutan dan Lama Waktu Perawatan	... 81
Tabel 4.12	Hasil Uji SNK untuk Interaksi Pasir, Kerikil, Lama Waktu Pengangkutan dan Lama Waktu Perawatan	... 84

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A1	Data Pengendalian Kualitas : Data hasil pengukuran Kekuatan Tekan beton	... 99
Lampiran A2	Data Kekuatan Tekan Beton, Rata-rata bergerak dan Range bergerak	... 100
Lampiran B	Hasil Uji Kolmogorov-Smirnov untuk Distribusi Normal	... 101
Lampiran C	Data Desain Eksperimen : Tabel Nilai Rata-rata Perlakuan	... 102
Lampiran D	Plot Residual Independent, Identik dan Distribusi Normal	... 107
Lampiran E	Tabel Tanda Koefisien Efek untuk Desain Eksperimen Faktorial 2^4	... 109
Lampiran F	Tabel Kuantil Uji Kolmogorov-Smirnov	... 110
Lampiran G	Tabel Faktor-faktor untuk Penetapan Batas Kendali 3-sigma Untuk Grafik Pengendali \bar{X} dan R	... 111
Lampiran H	Tabel Faktor-faktor untuk Pendugaan α' dari \bar{R} dan $\bar{\sigma}$... 112
Lampiran I	Tabel Distribusi Normal	... 113
Lampiran J	Tabel Distribusi F	... 115
Lampiran K	Tabel Studentized Range Statistik	... 117
Lampiran L	Perhitungan Analisis Varians	... 119

*"Ya Tuhan kami, ampunilah kami dan tindakan kami
yang berlebihan Dan tetapkanlah pendirian kami,
tolonglah kami terhadap kaum yang kafir."*

(QS Ali Imron :147)

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Selaras dengan perkembangan teknologi yang semakin maju, konsumen menjadi semakin kritis dalam memilih dan memakai suatu produk. Keadaan ini menyebabkan peranan kualitas dari suatu produk menjadi bertambah penting. Produsen dituntut untuk dapat menghasilkan produk dengan tingkat kualitas tertentu untuk menjaga reputasinya. Dengan menjaga kualitas produk tersebut maka diharapkan produk yang bersangkutan dapat bersaing di pasaran dan diterima oleh konsumen.

Pengendalian kualitas terhadap suatu produk sangat penting, mengingat adanya berbagai penyimpangan yang sering terjadi dalam suatu proses produksi. Dalam hal ini pengendalian dilakukan terhadap kualitas suatu produk yang dihasilkan, dengan menyesuaikan terhadap standar yang telah ditetapkan terlebih dahulu sebelum produk yang bersangkutan dilempar ke pasaran. Karena pada kenyataannya, bila suatu produk tidak dapat memenuhi kriteria yang ada maka akan sangat sulit bersaing di pasaran dan dengan demikian konsumen akan meninggalkan produk tersebut.

Adanya perbedaan kualitas dalam suatu proses produksi disebabkan oleh berbagai penyimpangan pada proses tersebut. Dalam proses produksi selalu diusahakan hasil dengan produk yang stabil. Untuk dapat menjamin atau menjaga kestabilan kualitas produksinya, PT Varia Usaha Beton Waru Sidoarjo yang

bergerak di bidang komponen bangunan, senantiasa mengadakan pengendalian terhadap kualitas produk yang dihasilkan dengan maksud untuk mengendalikan variasi-variasi hasil produksi agar tidak menyimpang jauh dari standar yang telah ditentukan. Pengendalian kualitas tersebut dijalankan dengan harapan dapat memenuhi berbagai syarat yang diajukan konsumen untuk menggunakan hasil produksinya dan meningkatkan kepercayaan konsumen kepada perusahaan.

1.2 Perumusan Masalah

Kualitas beton merupakan salah satu karakteristik dari hasil proses produksi beton. Untuk menentukan baik dan buruknya kualitas beton, maka beton perlu diuji berdasarkan kekuatan tekannya. Semakin jauh kekuatan tekan di bawah standar, semakin rendah pula kualitas dari beton tersebut.

Untuk mendapatkan kualitas beton yang baik dan sesuai dengan keinginan konsumen, maka terdapat beberapa permasalahan, yaitu :

1. Apakah kekuatan tekan beton yang dihasilkan sudah sesuai dengan batas spesifikasi yang telah ditentukan.
2. Apakah faktor-faktor yang akan diteliti mempunyai pengaruh terhadap kekuatan tekan beton.

1.3 Tujuan

Bertitik tolak pada permasalahan yang ada, maka tujuan dari Tugas Akhir dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Menentukan batas pengendalian pada kekuatan tekan beton dan menganalisis kemampuan proses produksi beton.
2. Menganalisis faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan tekan beton.

1.4 Manfaat

Manfaat yang ingin diambil dari Tugas Akhir adalah di dalam membuat desain campuran beton (*mix design*) lebih mempertimbangkan penggunaan faktor yang menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang besar.

1.5 Batasan Masalah

Mengingat akan keterbatasan waktu, biaya serta fasilitas, maka Tugas Akhir perlu dibatasi untuk lebih mudah mengarahkan persoalan. Pembatasan-pembatasan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Eksperimen dilakukan untuk mengamati karakteristik kekuatan tekan beton dan meneliti faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan tekan beton.
2. Penelitian dilakukan untuk beton yang berbentuk silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm.
3. Penelitian hanya dilakukan pada proses produksi beton pada bagian Pengendalian Kualitas.
4. Analisis data hanya didasarkan pada hasil penelitian yang dilakukan di PT Varia Usaha Beton Waru Sidoarjo.

1.6 Metodologi

Langkah-langkah yang digunakan untuk melakukan pembahasan adalah sebagai berikut :

1. Mengadakan pengamatan terhadap hasil proses produksi.
2. Melakukan pengendalian kualitas statistik.
 - Melakukan pengujian distribusi untuk data hasil proses produksi.
 - Membuat grafik pengendali \bar{X} dan R dengan menggunakan data hasil proses produksi.
 - Melakukan analisis pola grafik pengendali untuk mengetahui apakah proses dalam keadaan terkendali atau tidak.
 - Membuat grafik pengendali variabel baku sebagai pedoman dalam proses produksi untuk mendapatkan hasil produksi yang terkendali.
 - Melakukan analisis kemampuan proses
3. Melakukan analisis desain eksperimen.
 - Melakukan uji asumsi residual melalui plot independen, plot identik dan plot distribusi normal.
 - Menghitung analisis varians (ANOVA) dari eksperimen.
 - Melakukan uji Student Newman Keuls terhadap hasil analisis desain eksperimen.

*"Ya Tuhan, kami telah menganiaya diri kami,
Dan bila Engkau tidak mengampuni
dan memberi rahmat pada kami,
pastilah kami termasuk mereka yang menugi."
(QS AlA'raaf: 23)*

BAB II

LANDASAN TEORI

BAB II

LANDASAN TEORI

Langkah awal yang dilakukan dalam menganalisis suatu permasalahan adalah menentukan metode yang akan dipakai di dalam pengolahan data, sebab dengan pemakaian metode yang benar dan sesuai serta dengan perhitungan yang tepat, maka akan didapatkan suatu kesimpulan yang dapat dipercaya.

Sesuai dengan penelitian yang dilakukan yaitu meneliti faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan tekan beton, maka untuk meneliti faktor-faktor tersebut digunakan metode Pengendalian Kualitas dan Desain Eksperimen.

2.1 Pengambilan Sampel

Cara memilih sampel merupakan hal yang penting dalam menentukan apa yang dapat dimanfaatkan dari sampel itu. Dalam pengambilan sampel dituntut untuk dapat memberikan kesimpulan yang benar terhadap populasi. Untuk itu jumlah sampel yang diambil harus mencukupi sebagai bahan analisis.

Ada beberapa cara dalam pengambilan sampel, antara lain random sampling, stratified sampling, sistematis sampling dan cluster sampling. Adapun cara pengambilan sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah random sampling, yaitu cara pengambilan sampel dimana semuanya mempunyai probabilitas yang sama untuk terpilih sebagai sampel pada setiap kali pengambilan.

2.2 Pengujian Distribusi

Pengujian distribusi dilakukan untuk mengetahui bentuk distribusi data dengan mengabaikan nilai parameternya. Ketika diterapkan uji keselarasan sampel tunggal Kolmogorov-Smirnov, maka ada dua buah fungsi distribusi kumulatif yang harus diperhatikan yaitu distribusi kumulatif yang dihipotesiskan dan distribusi kumulatif yang teramati. Notasi $F(x)$ untuk menyatakan suatu fungsi distribusi kumulatif.

Apabila sebuah sampel diambil secara random dari suatu distribusi $F(x)$ yang belum diketahui, maka akan dipastikan apakah $F(x) = F_0(x)$ untuk semua nilai x . Jika $F(x) = F_0(x)$ diharapkan terdapat kecocokan yang erat antara $F_0(x)$ dan $S(x)$, fungsi distribusi sampel teramati atau fungsi distribusi empirik.

Uji sampel tunggal Kolmogorov-Smirnov dapat diringkas sebagai berikut :

1. Asumsi-asumsi

Data terdiri dari hasil pengamatan bebas X_1, X_2, \dots, X_n yang merupakan sebuah sampel acak berukuran n dari suatu fungsi distribusi yang belum diketahui dan dinyatakan dengan $F(x)$.

2. Hipotesis-hipotesis

Jika $F_0(x)$ merupakan fungsi distribusi yang dihipotesiskan (fungsi peluang kumulatif), maka dapat dinyatakan hipotesis nol dan hipotesis tandingannya masing-masing sebagai berikut :

a. Dua Sisi

$H_0 : F(x) = F_0(x)$ untuk semua nilai x

$H_1 : F(x) \neq F_0(x)$ untuk sekurang-kurangnya sebuah nilai x

b. Satu Sisi

$H_0 : F(x) \geq F_0(x)$ untuk semua nilai x

$H_1 : F(x) < F_0(x)$ untuk sekurang-kurangnya sebuah nilai x

c. Satu Sisi

$H_0 : F(x) \leq F_0(x)$ untuk semua nilai x

$H_1 : F(x) > F_0(x)$ untuk sekurang-kurangnya sebuah nilai x

3. Uji Statistik

Andaikan $S(x)$ menyatakan fungsi distribusi sampel (empirik) atau fungsi peluang kumulatif yang dihitung dari data sampel. Statistik uji ini bergantung dari hipotesisnya.

a. Untuk uji dua sisi

$$D_n = \sup_x |S(x) - F_0(x)| \quad \dots (2.1)$$

yang dibaca “ D_n sama dengan supremum untuk semua x , dari nilai mutlak beda $S(x) - F_0(x)$ ”. Apabila kedua fungsi tersebut disajikan secara grafik, D_n adalah jarak vertikal terjauh antara $S(x)$ dan $F_0(x)$.

b. Untuk uji dua sisi yang menetapkan bahwa $F(x) < F_0(x)$

$$D_n^+ = \sup_x [F_0(x) - S(x)] \quad \dots (2.2)$$

Dalam bentuk grafik, statistik ini merupakan jarak vertikal terjauh antara $F_0(x)$ dan $S(x)$, dimana fungsi yang dihipotesiskan $F_0(x)$ terletak di atas fungsi sampel $S(x)$.

c. Untuk uji satu sisi yang menetapkan bahwa $F(x) > F_0(x)$

$$Dn^- = \sup_x [S(x) - F_0(x)] \quad \dots (2.3)$$

Bila disajikan dalam bentuk grafik, statistik ini merupakan jarak vertikal terjauh antara $S(x)$ dan $F_0(x)$, manakala $S(x)$ terletak di atas $F_0(x)$.

Definisi Supremum : Misalkan S himpunan bagian dari R . Jika S batas atas, maka batas atas u dikatakan supremum (batas atas terkecil) pada S , jika tidak ada bilangan yang lebih kecil daripada u pada batas atas S .

4. *Aturan pengambilan keputusan*

Menolak H_0 pada taraf nyata α jika statistik uji yang diminati, Dn , Dn^+ atau Dn^- lebih besar dari kuantil $1-\alpha$ yang terdapat dalam tabel Kuantil uji Kolmogorov-Smirnov pada lampiran F.

2.3 Pengendalian Kualitas

Pengendalian Kualitas adalah suatu sistem untuk memeriksa dan memelihara tingkat kualitas yang diinginkan dalam suatu produk yang telah direncanakan dengan seksama. Dengan melakukan pengendalian terus menerus terhadap proses, maka akan dapat dideteksi kesalahan atau penyimpangan dalam proses produksi sedini mungkin, penyebab terjadinya pengurangan biaya yang diperlukan untuk perbaikan dan juga biaya yang hilang akibat suatu produk tidak dapat digunakan lagi.

2.3.1 Pengendalian Proses

Pengertian dari pengendalian proses adalah suatu usaha untuk mengetahui sejauh mana suatu produk masih dapat diproduksi. Hal ini penting disadari karena dalam proses produksi selalu terjadi penyimpangan yang disebabkan oleh beberapa faktor (variabel) misalnya bahan dasar, mesin/ peralatan, operator, metode kerja dan shift. Dengan adanya variasi-variasi tersebut pengendalian proses berusaha mengatasi sejauh mana suatu produksi masih dapat digunakan.

Dalam hal ini proses diartikan sebagai kombinasi antara kegiatan mesin, peralatan, material dan manusia yang bekerja untuk mendapatkan dan menghasilkan produk sesuai dengan spesifikasi yang telah direncanakan dan peranan utamanya adalah untuk menemukan proses terbaik sedemikian hingga didapat cara yang tepat.

2.3.2 Grafik Pengendali

Pengendalian Kualitas secara teliti dan efisien adalah suatu harapan dari pihak produsen dalam usaha mempertahankan keseragaman kualitas hasil produksinya.

Grafik pengendali adalah alat yang berbentuk grafik yang digunakan untuk mengendalikan proses secara statistik dan sebagai alat untuk mempertimbangkan apakah pengendalian sudah tercapai atau belum. Dengan grafik pengendali dapat ditunjukkan mana produk yang di luar batas pengendalian (*out of control*) dan mana yang masih dalam batas pengendalian (*in state of control*), sehingga bisa memperbaiki kualitas produksi serta mengurangi pengulangan kerja.

Penggunaan grafik pengendali didasarkan atas prinsip bahwa variasi kualitas tidak dapat dipisahkan dalam setiap proses produksi. Variasi atau penyimpangan suatu hasil produksi dapat terjadi oleh sebab-sebab :

1. *Random Causes*

Yaitu bila kejadian variasi yang timbul semata-mata karena sebab-sebab tidak terduga. Suatu proses yang bekerja hanya dengan adanya variasi sebab-sebab tidak terduga dikatakan berada dalam pengendalian (*in state of control*).

2. *Assignable Causes*

Yaitu bila variabilitas yang timbul dalam suatu proses dapat dicari penyebabnya. Variabilitas ini dalam karakteristik kualitas, biasanya timbul dari tiga sumber yaitu mesin, operator dan bahan baku. Sumber-sumber variabilitas yang bukan bagian dari pola sebab tidak terduga dinamakan sebab-sebab terduga. Suatu proses yang bekerja dengan adanya sebab-sebab terduga dikatakan tidak terkendali (*out of control*).

Grafik pengendali membedakan variasi *random causes* dengan *assignable causes* melalui suatu pemilihan batas pengendalian. Batas pengendalian ini dihitung berdasarkan mean dan standar deviasi. Bila variasi kualitas keluar dari batas pengendalian, ini berarti bahwa *assignable causes* terbawa dalam proses. Selanjutnya proses tersebut harus diselidiki untuk mencari sumber variasi dan berusaha menghilangkannya dan bila variasi kualitas terletak dalam batas pengendalian, berarti sebab-sebab tidak terduga saja yang ada atau proses menunjukkan keadaan terkendali.

2.3.3 Jenis Grafik Pengendali

Grafik pengendali dapat dibedakan dalam dua kelompok, yaitu :

1. Grafik pengendali untuk atribut.

Adalah suatu grafik pengendali dimana alat pemeriksa kualitas suatu proses atau rangkaian proses dengan menggunakan prinsip *go no go*, yaitu karakteristik kualitas dibedakan secara kualitatif menjadi cacat atau tidak cacat, baik atau tidak baik. Grafik pengendali atribut terdiri atas :

- Grafik pengendali p (prosentase cacat).
- Grafik pengendali np (jumlah cacat).
- Grafik pengendali c (prosentase cacat/ unit).
- Grafik pengendali u (jumlah cacat/ unit).

2. Grafik pengendali untuk variabel.

Adalah suatu grafik pengendali dimana alat pemeriksa kualitas suatu produk dapat diukur dan diekspresikan dengan angka. Karakteristik kualitas dapat berupa panjang, besar, tebal, volume, temperatur dan sebagainya.

Yang termasuk grafik pengendali variabel adalah :

- Grafik pengendali \bar{X} (rata-rata sampel).
- Grafik pengendali R (range sampel).
- Grafik pengendali S (Standar deviasi).
- Grafik pengendali S^2 (Variasi sampel).

Di dalam penelitian ini digunakan grafik pengendali \bar{X} dan R, karena karakteristik kualitas yang diamati merupakan besaran yang dapat diukur.

2.3.4 Prosedur Pembuatan Grafik Pengendali

Pekerjaan yang sesungguhnya dalam pengendalian kualitas diawali pada saat pengukuran pertama. Namun harus ditegaskan bahwa informasi yang diberikan grafik pengendali sangat dipengaruhi oleh keragaman dalam ukuran serta dalam karakteristik kualitas yang diukur. Oleh karena itu kesalahan dalam membaca peralatan pengukuran atau kesalahan pencatatan data harus benar-benar dihindari.

Dalam pembuatan grafik pengendali \bar{X} dan R, maka langkah-langkah sebagai berikut dapat dilakukan :

- I. Mempersiapkan grafik pengendali.
 1. Menetapkan tujuan pembuatan grafik pengendali.
 2. Memilih variabel.
 3. Menetapkan interval waktu pengambilan sampel.
 4. Menetapkan jumlah pengamatan.
 5. Mempersiapkan form pencatatan data.
 6. Menetapkan metode pengukuran.
- II. Memulai pembuatan grafik pengendali
 1. Melakukan pengukuran.
 2. Mencatat data pengukuran dan data lain yang relevan.
 3. Menghitung rata-rata \bar{X} untuk setiap jumlah pengamatan.
 4. Menghitung harga range R untuk setiap jumlah pengamatan.
 5. Membuat plot data untuk grafik pengendali \bar{X} .
 6. Membuat plot data untuk grafik pengendali R.

III. Menetapkan batas pengendalian.

1. Menetapkan jumlah sampel.
2. Menghitung harga rata-rata untuk \bar{X} .
3. Menghitung batas atas dan batas bawah untuk \bar{X} .
4. Menghitung rata-rata range R.
5. Menghitung batas atas dan batas bawah untuk R.
6. Membuat garis rata-rata dan batas grafik pengendali.

2.3.5 Grafik Pengendali \bar{X}

Grafik pengendali ini digunakan untuk mengawasi dan mendeteksi perubahan-perubahan yang terjadi (variasi) dari hasil pengukuran secara rata-rata. \bar{X} diperoleh dari masing-masing subgrup yang diinspeksi. Dimana untuk setiap subgrup memiliki ukuran pengamatan yang sama sebesar n.

Misalkan karakteristik kualitas berdistribusi normal dengan mean μ dan deviasi standar σ , dengan μ dan σ keduanya diketahui. Jika x_1, x_2, \dots, x_n sampel berukuran n, maka rata-rata sampel adalah

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

\bar{x} berdistribusi normal dengan mean μ dan deviasi standar $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

Selanjutnya, probabilitasnya adalah $1 - \alpha$ bahwa setiap mean sampel berada

diantara $\mu + z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{x}} = \mu + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$... (2.4)

dan
$$\mu - z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{x}} = \mu - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \dots (2.5)$$

Dengan demikian, jika μ dan σ keduanya diketahui, persamaan (2.4) dan (2.5) dapat digunakan sebagai batas pengendali atas dan bawah pada grafik pengendali mean sampel.

Dalam praktek, biasanya μ dan σ tidak diketahui. Oleh karena itu, nilai-nilai itu harus ditaksir dari sampel-sampel pendahuluan yang diambil ketika proses itu diduga terkendali. Biasanya taksiran ini harus didasarkan pada paling sedikit 20 sampai 25 sampel. Misalkan tersedia m sampel, masing-masing memuat n observasi pada karakteristik kualitas itu. Biasanya n diambil kecil, seringkali 4, 5 dan 6. Sampel-sampel kecil ini biasanya hasil dari pembentukan himpunan bagian rasional dan dari kenyataan bahwa biaya pengambilan sampel dan pemeriksaan yang berkaitan dengan pengukuran variabel itu relatif tinggi. Misalkan $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$ adalah rata-rata tiap sampel. Maka penaksir terbaik untuk rata-rata proses μ adalah mean keseluruhan, yaitu

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m} \quad \dots (2.6)$$

Jadi $\bar{\bar{x}}$ akan digunakan sebagai garis tengah grafik pengendali \bar{x} itu.

Untuk membuat batas pengendali diperlukan penaksir untuk deviasi standar σ . Jika x_1, x_2, \dots, x_n suatu sampel berukuran n , maka rentang sampel itu adalah selisih observasi terbesar dan terkecil yaitu $R = x_{\text{maks}} - x_{\text{min}}$. Variabel random $W = \frac{R}{\sigma}$ dinamakan rentang relatif. Parameter distribusi W adalah fungsi

ukuran sampel n . Mean \bar{W} adalah d_2 , sehingga penaksir untuk σ adalah $\hat{\sigma} = \frac{R}{d_2}$.

Nilai d_2 untuk berbagai ukuran sampel terdapat dalam lampiran H.

Misalkan R_1, R_2, \dots, R_m adalah rentang m sampel itu, rentang rata-ratanya adalah

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m} \quad \dots (2.7)$$

maka taksiran untuk σ dihitung sebagai

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \dots (2.8)$$

sehingga parameter grafik pengendali \bar{X} adalah :

$$\begin{aligned} \text{BPA} &= \bar{X} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R} \\ \text{Garis tengah} &= \bar{X} \\ \text{BPB} &= \bar{X} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R} \quad \dots (2.9) \end{aligned}$$

Diketahui bahwa $\frac{3}{d_2\sqrt{n}} = A_2$, sehingga rumus dari batas-batas pengendalian

menjadi :

$$\begin{aligned} \text{BPA} &= \bar{X} + A_2 \bar{R} \\ \text{Garis tengah} &= \bar{X} \\ \text{BPB} &= \bar{X} - A_2 \bar{R} \quad \dots (2.10) \end{aligned}$$

Konstanta A_2 bisa dilihat dalam lampiran G.

2.3.6 Grafik Pengendali R

Grafik pengendali R biasanya digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai penyebaran proses, sebab sering pula proses produksi menyimpang bukan saja pada rata-rata proses tetapi juga dalam penyebarannya. Jika terjadi penyimpangan keseragaman, biasanya disebabkan oleh bermacam-macam faktor, seperti keausan dari bagian mesin, kelalaian operator, kesalahan penyediaan bahan baku dan sebagainya. Langkah terpenting dalam pembuatan grafik pengendali R adalah menghitung nilai $R = \text{nilai maksimum} - \text{nilai minimum}$ dalam setiap subgrup.

Dengan menganggap bahwa karakteristik kualitas berdistribusi normal, estimasi $\hat{\sigma}_R$ dapat diperoleh dari distribusi rentang relatif $W = \frac{R}{\sigma}$.

Karena $R = W\sigma$, maka deviasi standar R adalah $\sigma_R = d_3 \sigma$. Karena σ tidak diketahui, σ_R ditaksir dengan

$$\hat{\sigma}_R = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \dots (2.11)$$

Dengan demikian, parameter grafik pengendali R adalah

$$\begin{aligned} \text{BPA} &= \bar{R} + 3 \hat{\sigma}_R = \bar{R} + 3 d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \\ \text{Garis tengah} &= \bar{R} \\ \text{BPB} &= \bar{R} - 3 \hat{\sigma}_R = \bar{R} - 3 d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \end{aligned} \quad \dots (2.12)$$

Jika dimisalkan $D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2}$ dan $D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$

Maka persamaan batas pengendalian pada grafik pengendali R menjadi :

$$\text{BPA} = D_4 \bar{R}$$

$$\text{Garis tengah} = \bar{R}$$

$$\text{BPB} = D_3 \bar{R} \quad \dots (2.13)$$

Konstanta D_3 dan D_4 bisa dilihat di lampiran G.

Kemungkinan akan terjadi BPB bernilai negatif, padahal range tidak akan pernah berharga negatif. Jika sampai terjadi hal demikian, maka diambil $\text{BPB} = 0$.

2.3.7 Analisis Pola Grafik Pengendali

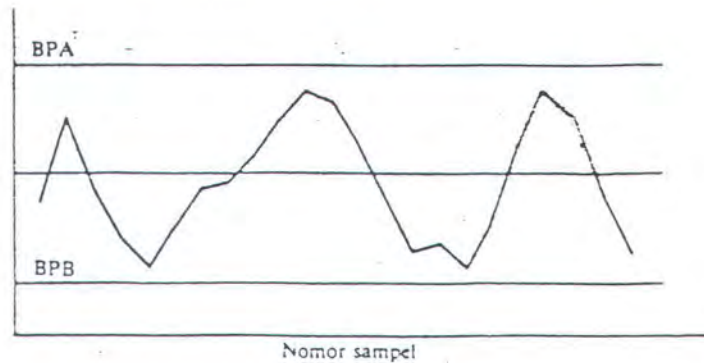
Proses dikatakan tidak terkendali apabila dipenuhi salah satu atau beberapa kriteria sebagai berikut :

1. Satu atau beberapa titik jatuh di luar batas pengendali.
2. Suatu giliran dengan paling sedikit tujuh atau delapan titik, dengan macam giliran dapat berbentuk giliran naik atau turun, giliran di atas atau di bawah garis tengah, atau giliran di atas atau di bawah median.
3. Pola tak bias atau tak random dalam data.
4. Satu atau beberapa titik dekat satu batas peringatan atau pengendali.

Grafik pengendali dapat menunjukkan keadaan tidak terkendali meskipun tidak satu titik pun terletak di luar batas pengendali, jika pola titik yang digambarkan menunjukkan tingkah laku tak random atau sistematis. Adapun pola-pola itu antara lain :

1. Pola Siklis

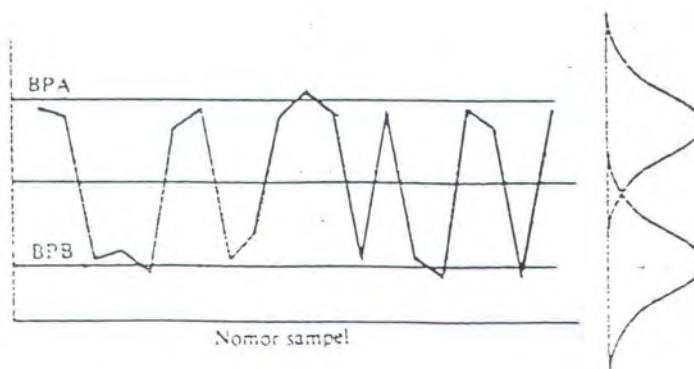
Pada grafik pengendali \bar{X} , pola ini disebabkan karena perubahan lingkungan secara sistematis dalam proses produksi. Pada grafik pengendali R sering memperlihatkan pola siklik karena jadwal pemeliharaan dan kelelahan operator.



Gambar 2.1 Pola Siklis dalam Grafik Pengendali

2. Pola Campuran

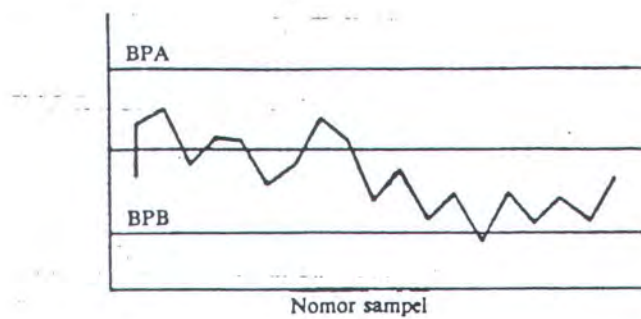
Adalah suatu pola dimana titik yang tergambar cenderung naik atau turun mendekati batas pengendalian, hal ini menunjukkan adanya pengawasan yang berlebihan dimana operator terlalu sering melakukan penyesuaian proses, bukan karena sebab-sebab sistematis melainkan variasi random dalam hasil produksi.



Gambar 2.2 Pola Campuran dalam Grafik Pengendali

3. Pergeseran dalam tingkat proses

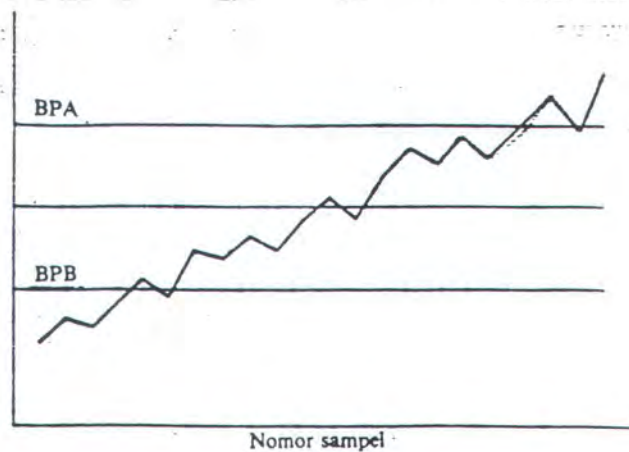
Pergeseran ini mungkin akibat dari pengenalan karyawan, metode, bahan baku atau mesin baru, perubahan dalam metode atau standar pemeriksaan, atau perubahan dalam ketrampilan, perhatian atau motivasi operator.



Gambar 2.3 Pola Pergeseran dalam tingkat proses dalam Grafik Pengendali

4. Pola Trend

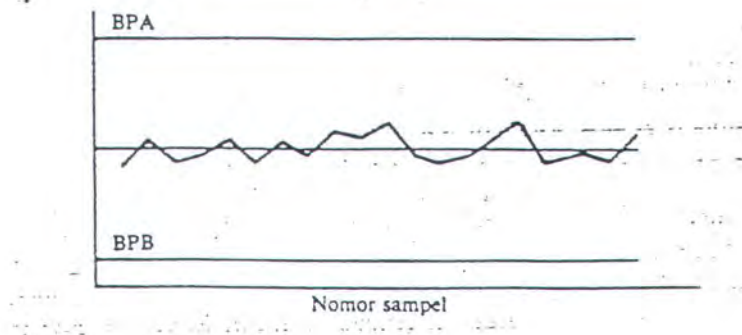
Adalah pola yang bergerak kontinu dalam satu arah, disebabkan ausnya alat-alat produksi, kelelahan operator dan temperatur.



Gambar 2.4 Pola Trend dalam Grafik Pengendali

5. Pola Stratifikasi

Pola yang titik-titiknya cenderung bergerombol di sekitar garis tengah, menunjukkan kesalahan dalam memperhitungkan batas pengendalian, kesalahan proses pengumpulan sampel, perbedaan distribusi antara sampel yang satu dengan yang lain.



Gambar 2.5 Pola Stratifikasi dalam Grafik Pengendali

2.3.8 Analisis Kemampuan Proses

Analisis kemampuan proses adalah suatu teknik statistik yang berguna sepanjang putaran produk, termasuk aktifitas pengembangan sebelum produksi, untuk kuantifikasi variabilitas proses, analisis variabilitas relatif terhadap persyaratan atau spesifikasi produk dan untuk membantu pengembangan dan produksi dalam menghilangkan atau mengurangi dengan banyak variabilitas ini.

Dalam suatu proses yang karakteristiknya berdistribusi normal dengan mean μ dan standar deviasi σ , maka di dalam analisis kemampuan prosesnya memakai penyebaran 6-sigma. Batas toleransi alami atas (BTAA) dan batas

toleransi alami bawah (BTAB), masing-masing jatuh pada $\mu + 3\sigma$ dan $\mu - 3\sigma$ yaitu

$$\begin{aligned} \text{BTAA} &= \mu + 3\sigma \\ \text{BTAB} &= \mu - 3\sigma \end{aligned} \quad \dots (2.14)$$

Merupakan standar pelaksanaan di Amerika Serikat untuk menentukan batas pengendali sebagai kelipatan deviasi standar statistik yang digambar grafiknya. Kelipatan yang biasanya dipilih adalah 3, sehingga batas 3-sigma biasa digunakan dalam grafik pengendali. Di Inggris dan beberapa bagian Eropa Barat, batas probabilitas standar yang digunakan adalah 0,001. Apabila distribusi karakteristik kualitas didekati dengan baik oleh distribusi Normal, maka akan kecil perbedaan antara batas 3-sigma dan batas probabilitas 0,001.

Penggunaan batas pengendalian 3-sigma karena batas-batas itu memberikan hasil yang baik dalam praktek. Demikian juga untuk distribusi karakteristik kualitas yang sebenarnya tidak diketahui, penggunaan batas pengendalian 3-sigma cukup baik untuk menghitung batas probabilitas dengan tepat.

Di sini analisis kemampuan proses didefinisikan sebagai suatu keteknikan untuk menaksir kemampuan proses. Untuk menaksir suatu kemampuan proses dapat dilakukan dengan cara Perbandingan Kemampuan Proses (PKP), yang dinyatakan dalam bentuk indeks kemampuan proses (C_p).

Kemampuan dari suatu proses yang stabil untuk membuat mampu hanya tergantung pada variabilitas proses, metode sederhana untuk mengevaluasi

kemampuan proses ini adalah dengan menghubungkan penyebaran proses yang sebenarnya = $6 \sigma'$ dengan penyebaran proses yang diijinkan = BSA – BSB.

Lebar batas spesifikasi merupakan penyebaran proses yang diijinkan jika proses dinilai mampu. Kedua penyebaran ini dapat dihubungkan untuk membentuk sebuah indeks kemampuan proses, sebagai berikut :

$$C_p = \frac{\text{penyebaran proses yang diijinkan}}{\text{penyebaran proses yang sebenarnya}}$$

Untuk dua arah :

$$C_p = \frac{BSA - BSB}{6 \sigma'} \quad \dots (2.15)$$

Untuk spesifikasi atas :

$$C_p = \frac{BSA - \mu}{3 \sigma'} \quad \dots (2.16)$$

Untuk spesifikasi bawah :

$$C_p = \frac{\mu - BSB}{3 \sigma'} \quad \dots (2.17)$$

Indeks kemampuan proses mempunyai tiga kesimpulan, yaitu :

1. $C_p = 1$

Nilai C_p ini berarti bahwa penyebaran proses yang sebenarnya sama dengan penyebaran proses yang diijinkan. Untuk distribusi normal, batas toleransi alami meliputi 99,73 % dari variabel itu, atau dengan kata lain hanya 0,27 % dari hasil proses akan jatuh di luar batas toleransi alami, ini berarti sekitar 27 unit tak sesuai per 10.000 unit produk yang dihasilkan.

2. $C_p > 1$

Nilai C_p ini mempunyai arti bahwa penyebaran proses yang sebenarnya kurang dari penyebaran proses yang diijinkan, sehingga dapat dikatakan bahwa unit-unit produk yang dihasilkan berada dalam batas pengendalian yang diijinkan.

3. $C_p < 1$

Nilai C_p ini berarti bahwa penyebaran proses yang sebenarnya lebih besar dari penyebaran proses yang diijinkan sehingga akan terdapat cukup banyak yang tidak sesuai dengan batas pengendalian yang diijinkan.

2.4 Desain Eksperimen

Desain Eksperimen merupakan langkah tindakan yang benar-benar terdefinisikan sedemikian hingga informasi yang berhubungan dengan atau diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan.

Desain Eksperimen bertujuan untuk memperoleh atau mengumpulkan informasi sebanyak-banyaknya yang diperlukan dan berguna dalam melakukan penelitian permasalahan yang akan dibahas. Desain sebuah eksperimen merupakan langkah-langkah lengkap yang perlu diambil jauh sebelum eksperimen dilakukan agar data yang diperlukan dapat diperoleh, sehingga akan membawa kepada analisis obyektif dan kesimpulan yang berlaku untuk permasalahan yang akan dibahas.

2.4.1 Pengertian dan Prinsip Dasar Desain Eksperimen

Beberapa pengertian yang terdapat dalam Desain Eksperimen akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Perlakuan

Perlakuan diartikan sekumpulan kondisi eksperimen yang akan digunakan terhadap unit eksperimen dalam ruang lingkup desain yang dipilih. Perlakuan tunggal akan memberikan efek sendiri-sendiri terhadap variabel respon. Namun efek perlakuan terhadap variabel respon bisa terjadi dalam bentuk gabungan atau bentuk kombinasi beberapa perlakuan tunggal secara bersamaan, sehingga diperoleh kombinasi perlakuan.

2. Unit Eksperimen

Yaitu unit yang dikenai perlakuan tunggal dalam sebuah replikasi eksperimen dasar.

3. Kekeliruan Eksperimen

Kekeliruan eksperimen menyatakan kegagalan dari dua unit eksperimen identik yang dikenai perlakuan untuk memberikan hasil yang sama.

Adapun beberapa prinsip dasar dalam Desain Eksperimen adalah sebagai berikut :

1. Replikasi

Replikasi merupakan pengulangan eksperimen dasar. Replikasi diperlukan karena dapat :

- Memberikan taksiran kekeliruan eksperimen yang dapat dipakai untuk menentukan panjang selang kepercayaan atau dapat digunakan sebagai satuan dasar pengukuran untuk penetapan taraf signifikan dari perbedaan-perbedaan yang diamati.
- Menghasilkan taksiran yang lebih akurat untuk kekeliruan eksperimen.
- Memungkinkan untuk memperoleh taksiran yang lebih baik mengenai efek rata-rata suatu faktor.

2. Pengacakan

Pengacakan perlu dilakukan karena :

- Pengacakan menyebabkan pengujian menjadi berlaku sehingga data dapat dianalisis, dengan anggapan seolah asumsi tentang independen dipenuhi.
- Pengacakan merupakan suatu cara untuk menghilangkan bias.
- Jika pengacakan tidak digunakan, maka setiap kesimpulan yang dibuat bersifat bias dan tidak dapat didukung oleh pengertian peluang sebagaimana mestinya.

2.4.2 Langkah-langkah Desain Eksperimen

Dalam Desain Eksperimen terdapat tiga langkah yang harus dilakukan, yaitu sebagai berikut :

1. Perumusan eksperimen

Dalam langkah perumusan eksperimen, permasalahan yang akan dipecahkan akan dinyatakan dengan jelas dengan melalui tahap sebagai berikut :

- Pendefinisian masalah

Permasalahan yang akan diteliti harus didefinisikan dengan jelas dan benar. Pendefinisian masalah harus mencakup ruang lingkup, tujuan serta batasannya agar tujuan yang diinginkan menjadi jelas dan terarah.

- Pemilihan variabel tak bebas

Variabel tak bebas (variabel respon) adalah variabel yang akan diteliti.

- Pemilihan variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi variabel tak bebas. Pemilihan faktor ini didasarkan atas dugaan bahwa faktor tersebut dapat mempengaruhi variabel tak bebas.

- Pemilihan level dari variabel bebas

Variabel bebas dapat dinyatakan secara kuantitatif ataupun dengan kualitatif. Faktor kuantitatif adalah faktor-faktor yang dapat diukur atau dinyatakan dalam skala numerik, misalnya temperatur, panjang, berat dan lain-lain. Adapun faktor kualitatif adalah faktor yang level-levelnya tidak dapat dinyatakan dalam skala numerik, misalnya jenis mesin, operator dan lain-lain. Level dari faktor dapat dipilih secara acak dan secara tetap. Level acak adalah level yang dipilih secara acak dari seluruh kemungkinan yang ada dalam populasi tak terbatas. Perbedaan dengan level tetap terletak pada kesimpulan yang dibuat. Hasil dari model dengan level acak berlaku untuk populasi dimana level tersebut diambil. Sedangkan hasil dari model dengan level tetap hanya berlaku untuk level-level itu sendiri.

- Penentuan kombinasi dari level-level variabel bebas

Dari level-level faktor yang ditentukan, dapatlah dibentuk suatu perlakuan. Dan kombinasi dari level-level faktor ini ditentukan oleh Desain Eksperimen yang digunakan.

2. Perencanaan

Tujuan utama dari langkah ini adalah membuat eksperimen yang dapat berlaku valid dengan cara mengurangi, mencegah atau bila mungkin menghilangkan sama sekali kesalahan yang terjadi dalam eksperimen. Untuk memenuhi tujuan dari langkah ini, maka dilakukan tahap sebagai berikut :

- Menentukan jumlah replikasi

Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam eksperimen. Tujuan dari replikasi adalah untuk memudahkan dilakukannya uji statistik yang sensitif dan signifikan. Pendekatan yang dapat dilakukan untuk menentukan jumlah replikasi adalah dengan mempertimbangkan derajat kebebasan dari kesalahan eksperimen. Makin besar derajat kebebasan makin sensitif pula uji yang akan dihasilkan.

- Randomisasi eksperimen

Karena dalam eksperimen selalu ada variabel yang tidak terkendali, maka randomisasi harus dilakukan. Maksud dari randomisasi ini adalah untuk memperkecil korelasi antar pengamatan. Metode yang umum dipakai adalah dengan menggunakan tabel bilangan random.

- Membuat model matematika

Setelah variabel bebas dan tak bebas ditentukan, maka model matematika dari eksperimen tersebut dapat dibuat. Model matematika menunjukkan variabel tak bebas sebagai fungsi dari seluruh faktor yang mempengaruhinya. Model matematika dibuat sesuai dengan bentuk Desain Eksperimen yang digunakan sehingga mendekati kenyataan dari obyek penelitian.

- Menentukan hipotesis

Sebelum mengadakan analisis, hal yang terpenting dilakukan adalah menentukan hipotesis yang akan diuji. Hipotesis ini tentunya disesuaikan dengan tujuan penelitian.

3. Analisis

Analisis merupakan tahap akhir dari suatu Desain Eksperimen. Dalam langkah ini akan dilakukan tahap sebagai berikut :

- Pengumpulan dan pengolahan data

Meliputi kegiatan pengumpulan, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *lay out* tertentu sesuai dengan desain yang dipilih.

- Perhitungan dan pengujian statistik

Data yang telah diperoleh kemudian dihitung dan diuji dengan analisis varians dan uji hipotesis serta pengujian statistik lain yang diperlukan.

- Interpretasi hasil eksperimen

Hasil-hasil uji statistik dari eksperimen kemudian diinterpretasikan dalam bentuk yang mudah difahami oleh pelaksana maupun orang lain.

2.4.3 Desain Eksperimen Faktorial 2^k

Eksperimen faktorial adalah eksperimen yang memuat semua kombinasi beberapa level dari beberapa faktor. Apabila setiap faktor hanya memiliki dua level maka eksperimen faktorial yang dihadapi adalah eksperimen faktorial 2^k . Dengan kata lain eksperimen faktorial 2^k merupakan metode eksperimen dengan k buah faktor atau variabel yang masing-masing terdiri dari dua level, yaitu level rendah dan level tinggi. Dalam hal ini banyaknya kombinasi perlakuan yang terjadi adalah sebesar 2^k . Tentunya makin besar harga k (atau makin banyak faktor yang terlibat), maka akan semakin banyak terjadinya kombinasi perlakuan.

Sebelum eksperimen dilaksanakan, hal yang pertama kali dilakukan adalah pemilihan faktor-faktor (beserta level dari masing-masing faktor tersebut) yang akan diamati pengaruhnya terhadap suatu variabel tak bebas tertentu. Faktor-faktor yang terlibat tersebut disebut juga sebagai variabel bebas.

$$Y_i = \text{variabel tak bebas } (i = 1, 2, 3, \dots, N)$$

$$X_j = \text{variabel bebas } (j = 1, 2, 3, \dots, k)$$

Hubungan antara variabel tak bebas Y_i dengan variabel bebas X_j dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Y_i = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_k) + \varepsilon_i \quad \dots (2.18)$$

$$\varepsilon = \text{error yang diasumsikan } \overset{\text{iid}}{\sim} N(0, \sigma^2)$$

2.4.4 Uji Asumsi Residual

Residual didefinisikan sebagai perbedaan antar nilai pengamatan (Y) dengan nilai taksiran (\hat{Y}) yang didapatkan setelah model yang sesuai diterapkan dan dapat ditulis secara matematis sebagai berikut :

$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad \dots (2.19)$$

Adapun asumsi yang harus terpenuhi pada residual adalah iid $N(0, \sigma^2)$

2.4.4.1 Plot Residual Independent

Pelaksanaan Plot Residual Independent bertujuan untuk menguji apakah ada ketergantungan diantara residual jika terdapat urutan waktu pengamatan. Dalam hal ini akan dihitung autokorelasi dari residual tersebut.

Autokorelasi adalah ukuran tingkat hubungan linear antara residual pada pengamatan ke t dengan residual pada pengamatan ke $t + k$ dengan selisih waktu (lag k).

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (e_t - \bar{e})(e_{t+k} - \bar{e}) / N - k}{\sum_{t=1}^n (e_t - \bar{e})^2 / N} \quad \dots (2.20)$$

dimana $k = 1, 2, 3, \dots, n-1$

Bila harga autokorelasi (r_k) berada dalam interval $\left(-\frac{2}{\sqrt{n}}, \frac{2}{\sqrt{n}}\right)$, maka residualnya independen dan autokorelasi pada lag k secara statistis dianggap sama dengan 0.

2.4.4.2 Plot Residual Identik

Pelaksanaan Plot Residual Identik bertujuan untuk melihat apakah penyebaran diantara residual identik, yaitu tidak menunjukkan kecenderungan naik atau turun. Untuk mengetahui hal tersebut dilakukan plot antara e_s dengan \hat{Y} .

$$e_s = e_i \text{ yang distandarisasikan} = e_i / S_E \quad \dots (2.21)$$

$$\text{dimana } S_E = \sqrt{MS_E}$$

Residual dikatakan identik apabila e_s berada dalam interval $(-1,96 ; 1,96)$ sehingga diharapkan dengan interval konfidensi 95 % nilai e_s berada dalam interval semua pengamatan.

2.4.4.3 Plot Residual Berdistribusi Normal

Plot ini bertujuan untuk melihat apakah residual berdistribusi normal dengan mean 0 dan varians σ^2 , yang dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Menghitung prosentase kumulatif (P_i)

$$P_i = \frac{100(i-0,5)}{N} \quad \text{dimana } i = 1, 2, 3, \dots, N$$

- Menghitung e_s dari rumus e_s dan P_i (e_s sebagai absis dan P_i sebagai ordinat)
- Bila hasil plot mendekati garis lurus maka asumsi residual berdistribusi normal terpenuhi.

2.4.5 Model dan Analisis Varians

Pada sub bab ini dipandang suatu eksperimen faktorial dengan empat faktor A, B, C dan D masing-masing mempunyai dua level, serta terdapat N pengamatan dalam tiap kombinasi perlakuan. Pengujian keberartian dilakukan untuk keempat faktor utama dan interaksi. Model untuk eksperimen adalah

$$\begin{aligned}
 Y_{ijklm} = & \mu + A_i + B_j + C_k + D_l + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (AD)_{il} + (BC)_{jk} + \\
 & (BD)_{jl} + (CD)_{kl} + (ABC)_{ijk} + (ABD)_{ijl} + (ACD)_{ikl} + (BCD)_{jkl} + \\
 & (ABCD)_{ijkl} + \varepsilon_{m(ijkl)} \quad \dots (2.22)
 \end{aligned}$$

dimana : $a = b = c = d = 2$ (ada dua level untuk masing-masing faktor)

$i = 1, \dots, a; j = 1, \dots, b; k = 1, \dots, c; l = 1, \dots, d$ dan $m = 1, \dots, n$

Untuk menyatakan kombinasi perlakuan dipakai notasi a, b, c dan d. Sedangkan dua buah level pada setiap faktornya dinotasikan dengan tanda + (untuk level tinggi) dan tanda - (untuk level rendah).

Keseluruhan kombinasi perlakuan yang terjadi dari eksperimen faktorial dengan empat faktor yang masing-masing faktor memiliki dua level (tinggi dan rendah) yaitu sebanyak $2^4 = 16$ kombinasi perlakuan. Penentuan kontras untuk setiap kombinasi perlakuan Eksperimen Faktorial 2^4 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 16 \text{ A} &= (a-1)(b+1)(c+1)(d+1) \\
 16 \text{ B} &= (a+1)(b-1)(c+1)(d+1) \\
 16 \text{ C} &= (a+1)(b+1)(c-1)(d+1) \\
 16 \text{ D} &= (a+1)(b+1)(c+1)(d-1) \\
 16 \text{ AB} &= (a-1)(b-1)(c+1)(d+1) \\
 16 \text{ AC} &= (a-1)(b+1)(c-1)(d+1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
16 \text{ AD} &= (a-1)(b+1)(c+1)(d-1) \\
16 \text{ BC} &= (a+1)(b-1)(c-1)(d+1) \\
16 \text{ BD} &= (a+1)(b-1)(c+1)(d-1) \\
16 \text{ CD} &= (a+1)(b+1)(c-1)(d-1) \\
16 \text{ ABC} &= (a-1)(b-1)(c-1)(d+1) \\
16 \text{ ABD} &= (a-1)(b-1)(c+1)(d-1) \\
16 \text{ BCD} &= (a+1)(b-1)(c-1)(d-1) \\
16 \text{ ABCD} &= (a-1)(b-1)(c-1)(d-1) \\
(1) &= (a+1)(b+1)(c+1)(d+1)
\end{aligned}$$

Analisis Varians untuk pengujian keberartian faktor-faktor utama dan interaksi dilakukan dengan cara metode Yates berdasarkan tabel tanda koefisien efek, yang terdapat dalam lampiran E.

Sebelumnya diperlihatkan bagan setiap kombinasi perlakuan yang terjadi seperti tertera di bawah ini.

Tabel 2.1 Kombinasi perlakuan Eksperimen Faktorial 2^4

		C ₁		C ₂	
		D ₁	D ₂	D ₁	D ₂
A ₁	B ₁	(1)	d	c	bd
	B ₂	b	bd	bc	bcd
A ₂	B ₁	a	ad	ac	bcd
	B ₂	ab	abd	abc	abcd

Perhitungan jumlah kuadrat (*Sum of Squares/ SS*) tiap-tiap efek dihitung dengan aturan

$$SS(\text{efek}) = \frac{(\text{contrast})^2}{r \cdot 2^4} \quad \dots (2.23)$$

dengan r menyatakan banyak replikasi dalam tiap sel kombinasi perlakuan.

Sedangkan tabel ANOVA untuk Eksperimen Faktorial empat faktor dengan dua level diberikan sebagai berikut :

Tabel 2.2 ANOVA untuk Eksperimen Faktorial 2^4

Sumber variasi	Djrt Kebebasan	Sum of Squares	Mean Square	F_{hitung}
Rata-rata	1			
Perlakuan A	1			
Perlakuan B	1			
Perlakuan C	1	$SS(\text{efek}) = \frac{(\text{contrast})^2}{r \cdot 2^4}$	$\frac{SS}{dk}$	$\frac{MS}{MS_{\epsilon}}$
Perlakuan D	1			
...				
Perlakuan ABCD	1			
Error	N-16			
Total	N	$\sum Y^2$		

Pengujian keberartian perlakuan terhadap eksperimen yang dilakukan,

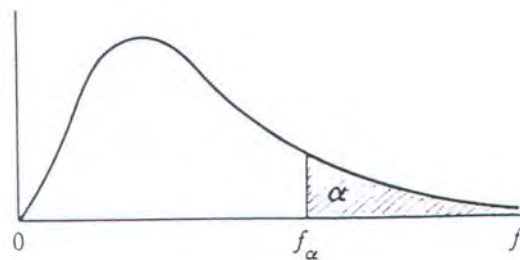
berdasarkan dari uji hipotesa sebagai berikut :

H_0 : perlakuan tidak mempunyai pengaruh terhadap hasil eksperimen

H_1 : perlakuan mempunyai pengaruh terhadap hasil eksperimen

Pengambilan keputusan : H_0 ditolak bila $F_{hitung} > F_{tabel}$.

F_{tabel} setiap perlakuan = F (dk, N-16, $\alpha\%$).



Gambar 2.6 Distribusi F

Contoh penyelesaian Analisis Varians dengan menggunakan Metode Yates

Tabel 2.3 Contoh soal penggunaan Metode Yates

Temperatur	Konsentrasi	
	40 %	50 %
50 ⁰ C	44,8 45,2 44,6	(1) = 134,6 45,7 46,0 46,2
60 ⁰ C	43,2 44,1 43,9	a = 131,2 45,9 46,3 46,5

Untuk melihat adanya sifat ortogonal, akan digunakan tanda koefisien efek berikut ini :

Tabel 2.4 Tabel tanda koefisien efek Eksperimen Faktorial 2²

Kombinasi perlakuan	Efek			
	Total	A	B	AB
(1)	+	-	-	+
a	+	+	-	-
b	+	-	+	-
ab	+	+	+	+

Sistem kontras :

$$6 A = - (1) + a - b + ab = - 2,6$$

$$6 B = - (1) - a + b + ab = 10,8$$

$$6 AB = + (1) - a - b + ab = 4,2$$

Koefisien 6 untuk tiap efek didapat dari $r.2^{k-1}$ dengan $r = 3$ dan $k = 2$.

Perhitungan *sum of squares (SS)* menggunakan rumus :

$$SS (\text{efek}) = \frac{(\text{contrast})^2}{r.2^2}$$

maka akan didapatkan :

$$SS(A) = \frac{(-2,6)^2}{3 \times 2^2} = 0,56$$

$$SS(B) = \frac{(10,8)^2}{3 \times 2^2} = 9,72$$

$$SS(AB) = \frac{(4,2)^2}{3 \times 2^2} = 1,47$$

Untuk mendapatkan daftar Analisis Varians, akan dihitung R_y , ΣY^2 dan E_y .

$$\Sigma Y^2 = (44,8)^2 + (45,2)^2 + \dots + (46,3)^2 + (46,5)^2 = 24.529,18$$

$$R_y = \frac{(44,8 + 45,2 + \dots + 46,3 + 46,5)^2}{12} = 24.516,48$$

$$E_y = 24.529,18 - 24.516,48 - 0,56 - 9,72 - 1,47 = 0,95$$

Tabel 2.5 Hasil perhitungan Analisis Varians

Sumber Variasi	dk	SS	MS	F _{hitung}
Rata-rata	1	24.516,48	-	-
Perlakuan A	1	0,56	0,56	4,67
Perlakuan B	1	9,72	9,72	81,00
Perlakuan AB	1	1,47	1,47	12,25
Kekeliruan	8	0,95	0,12	-
Jumlah	12	24.529,18	-	-

Perhitungan *sum of squares* juga bisa dilakukan dengan jalan biasa, yang penjabarannya sebagai berikut :

$$Y_{ijklm} = \mu + A_i + B_j + C_k + D_l + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (AD)_{il} + (BC)_{jk} + (BD)_{jl} + (CD)_{kl} \\ + (ABC)_{ijk} + (ABD)_{ijl} + (ACD)_{ikl} + (BCD)_{jkl} + (ABCD)_{ijkl} + \varepsilon_{m(ijkl)}$$

$$\begin{aligned}
Y_{ijklm} = & \bar{y} + (\bar{y}_i - \bar{y}) + (\bar{y}_j - \bar{y}) + (\bar{y}_k - \bar{y}) + (\bar{y}_l - \bar{y}) + (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y}) + \\
& (\bar{y}_{ik} - \bar{y}_i - \bar{y}_k + \bar{y}) + (\bar{y}_{il} - \bar{y}_i - \bar{y}_l + \bar{y}) + (\bar{y}_{jk} - \bar{y}_j - \bar{y}_k + \bar{y}) + \\
& (\bar{y}_{jl} - \bar{y}_j - \bar{y}_l + \bar{y}) + (\bar{y}_{kl} - \bar{y}_k - \bar{y}_l + \bar{y}) + \\
& (\bar{y}_{ijk} + \bar{y}_i + \bar{y}_j + \bar{y}_k - \bar{y}_{ij} - \bar{y}_{ik} - \bar{y}_{jk} - \bar{y}) + \\
& (\bar{y}_{ijl} + \bar{y}_i + \bar{y}_j + \bar{y}_l - \bar{y}_{ij} - \bar{y}_{il} - \bar{y}_{jl} - \bar{y}) + \\
& (\bar{y}_{ikl} + \bar{y}_i + \bar{y}_k + \bar{y}_l - \bar{y}_{ik} - \bar{y}_{il} - \bar{y}_{kl} - \bar{y}) + \\
& (\bar{y}_{jkl} + \bar{y}_j + \bar{y}_k + \bar{y}_l - \bar{y}_{jk} - \bar{y}_{jl} - \bar{y}_{kl} - \bar{y}) + \\
& (\bar{y}_{ijkl} - \bar{y}_i - \bar{y}_j - \bar{y}_k - \bar{y}_l + \bar{y}_{ij} + \bar{y}_{ik} + \bar{y}_{il} + \bar{y}_{jk} + \bar{y}_{jl} + \bar{y}_{kl} - \bar{y}_{ijk} - \bar{y}_{ijl} - \bar{y}_{ikl} - \\
& \bar{y}_{jkl} + \bar{y}) + (y_{ijklm} - \bar{y}_{ijkl}) \quad \dots (2.24)
\end{aligned}$$

Analisis statistik pada model

$$y_i = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad \bar{y}_i = \frac{y_i}{bcdn}$$

$$y_j = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad \bar{y}_j = \frac{y_j}{acd n}$$

$$y_k = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad \bar{y}_k = \frac{y_k}{abdn}$$

$$y_l = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad \bar{y}_l = \frac{y_l}{abcn}$$

$$y_{ij} = \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad \bar{y}_{ij} = \frac{y_{ij}}{cdn}$$

$$y_{ik} = \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad \bar{y}_{ik} = \frac{y_{ik}}{bdn}$$

$$\begin{aligned}
y_{il} &= \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{m=1}^n y_{ijklm} & \bar{y}_{il} &= \frac{y_{il}}{bcn} \\
y_{jk} &= \sum_{i=1}^a \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} & \bar{y}_{jk} &= \frac{y_{jk}}{adn} \\
y_{jl} &= \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \sum_{m=1}^n y_{ijklm} & \bar{y}_{jl} &= \frac{y_{jl}}{acn} \\
y_{kl} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{m=1}^n y_{ijklm} & \bar{y}_{kl} &= \frac{y_{kl}}{abn} \\
y_{ijk} &= \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} & \bar{y}_{ijk} &= \frac{y_{ijk}}{dn} \\
y_{ijl} &= \sum_{k=1}^c \sum_{m=1}^n y_{ijklm} & \bar{y}_{ijl} &= \frac{y_{ijl}}{cn} \\
y_{ikl} &= \sum_{j=1}^b \sum_{m=1}^n y_{ijklm} & \bar{y}_{ikl} &= \frac{y_{ikl}}{bn} \\
y_{jkl} &= \sum_{i=1}^a \sum_{m=1}^n y_{ijklm} & \bar{y}_{jkl} &= \frac{y_{jkl}}{an} \\
y_{ijkl} &= \sum_{m=1}^n y_{ijklm} & \bar{y}_{ijkl} &= \frac{y_{ijkl}}{n} \\
y &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} & \bar{y} &= \frac{y}{abcdn} \quad \dots (2.25)
\end{aligned}$$

Diketahui identitas jumlah kuadrat :

$$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm}^2 = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n (y_{ijklm} - \bar{y})^2 + abcdn \bar{y}^2 \quad \dots (2.26)$$

Dari persamaan (2.24) \bar{y} dipindah ke sisi kiri, sehingga persamaan (2.24) menjadi

$$\begin{aligned}
 y_{ijklm} - \bar{y} &= (\bar{y}_i - \bar{y}) + (\bar{y}_j - \bar{y}) + (\bar{y}_k - \bar{y}) + (\bar{y}_l - \bar{y}) + (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y}) + \\
 &(\bar{y}_{ik} - \bar{y}_i - \bar{y}_k + \bar{y}) + (\bar{y}_{il} - \bar{y}_i - \bar{y}_l + \bar{y}) + (\bar{y}_{jk} - \bar{y}_j - \bar{y}_k + \bar{y}) + (\bar{y}_{jl} - \bar{y}_j - \bar{y}_l + \bar{y}) + \\
 &(\bar{y}_{kl} - \bar{y}_k - \bar{y}_l + \bar{y}) + (\bar{y}_{ijk} + \bar{y}_i + \bar{y}_j + \bar{y}_k - \bar{y}_{ij} - \bar{y}_{ik} - \bar{y}_{jk} - \bar{y}) + \\
 &(\bar{y}_{ijl} + \bar{y}_i + \bar{y}_j + \bar{y}_l - \bar{y}_{ij} - \bar{y}_{il} - \bar{y}_{jl} - \bar{y}) + (\bar{y}_{ikl} + \bar{y}_i + \bar{y}_k + \bar{y}_l - \bar{y}_{ik} - \bar{y}_{il} - \bar{y}_{kl} - \bar{y}) + \\
 &(\bar{y}_{jkl} + \bar{y}_j + \bar{y}_k + \bar{y}_l - \bar{y}_{jk} - \bar{y}_{jl} - \bar{y}_{kl} - \bar{y}) + \\
 &(\bar{y}_{ijkl} - \bar{y}_i - \bar{y}_j - \bar{y}_k - \bar{y}_l + \bar{y}_{ij} + \bar{y}_{ik} + \bar{y}_{il} + \bar{y}_{jk} + \bar{y}_{jl} + \bar{y}_{kl} - \bar{y}_{ijk} - \bar{y}_{ijl} - \bar{y}_{ikl} - \bar{y}_{jkl} + \bar{y}) \\
 &+ (\bar{y}_{ijklm} - \bar{y}_{ijkl})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n (y_{ijklm} - \bar{y})^2 &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n [(\bar{y}_i - \bar{y}) + (\bar{y}_j - \bar{y}) + (\bar{y}_k - \bar{y}) + \\
 &(\bar{y}_l - \bar{y}) + (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y}) + (\bar{y}_{ik} - \bar{y}_i - \bar{y}_k + \bar{y}) + (\bar{y}_{il} - \bar{y}_i - \bar{y}_l + \bar{y}) + \\
 &(\bar{y}_{jk} - \bar{y}_j - \bar{y}_k + \bar{y}) + (\bar{y}_{jl} - \bar{y}_j - \bar{y}_l + \bar{y}) + (\bar{y}_{kl} - \bar{y}_k - \bar{y}_l + \bar{y}) + \\
 &(\bar{y}_{ijk} + \bar{y}_i + \bar{y}_j + \bar{y}_k - \bar{y}_{ij} - \bar{y}_{ik} - \bar{y}_{jk} - \bar{y}) + (\bar{y}_{ijl} + \bar{y}_i + \bar{y}_j + \bar{y}_l - \bar{y}_{ij} - \bar{y}_{il} - \bar{y}_{jl} - \bar{y}) + \\
 &(\bar{y}_{ikl} + \bar{y}_i + \bar{y}_k + \bar{y}_l - \bar{y}_{ik} - \bar{y}_{il} - \bar{y}_{kl} - \bar{y}) + (\bar{y}_{jkl} + \bar{y}_j + \bar{y}_k + \bar{y}_l - \bar{y}_{jk} - \bar{y}_{jl} - \bar{y}_{kl} - \bar{y}) + \\
 &(\bar{y}_{ijkl} - \bar{y}_i - \bar{y}_j - \bar{y}_k - \bar{y}_l + \bar{y}_{ij} + \bar{y}_{ik} + \bar{y}_{il} + \bar{y}_{jk} + \bar{y}_{jl} + \bar{y}_{kl} - \bar{y}_{ijk} - \bar{y}_{ijl} - \bar{y}_{ikl} - \bar{y}_{jkl} + \bar{y}) + \\
 &(\bar{y}_{ijklm} - \bar{y}_{ijkl})]^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n (y_{ijklm} - \bar{y})^2 = bcdn \sum_{i=1}^a (\bar{y}_i - \bar{y})^2 + acdn \sum_{j=1}^b (\bar{y}_j - \bar{y})^2 + \\
& abdn \sum_{k=1}^c (\bar{y}_k - \bar{y})^2 + abcnd \sum_{l=1}^d (\bar{y}_l - \bar{y})^2 + cnd \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y})^2 \\
& bdn \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c (\bar{y}_{ik} - \bar{y}_i - \bar{y}_k + \bar{y})^2 + bcn \sum_{i=1}^a \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{il} - \bar{y}_i - \bar{y}_l + \bar{y})^2 + \\
& adn \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c (\bar{y}_{jk} - \bar{y}_j - \bar{y}_k + \bar{y})^2 + acn \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{jl} - \bar{y}_j - \bar{y}_l + \bar{y})^2 + \\
& abn \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{kl} - \bar{y}_k - \bar{y}_l + \bar{y})^2 + \\
& dn \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c (\bar{y}_{ijk} + \bar{y}_i + \bar{y}_j + \bar{y}_k - \bar{y}_{ij} - \bar{y}_{ik} - \bar{y}_{jk} - \bar{y})^2 + \\
& cn \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{ijl} + \bar{y}_i + \bar{y}_j + \bar{y}_l - \bar{y}_{ij} - \bar{y}_{il} - \bar{y}_{jl} - \bar{y})^2 + \\
& bn \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{ikl} + \bar{y}_i + \bar{y}_k + \bar{y}_l - \bar{y}_{ik} - \bar{y}_{il} - \bar{y}_{kl} - \bar{y})^2 + \\
& an \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{jkl} + \bar{y}_j + \bar{y}_k + \bar{y}_l - \bar{y}_{jk} - \bar{y}_{jl} - \bar{y}_{kl} - \bar{y})^2 + \\
& n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{ijkl} - \bar{y}_i - \bar{y}_j - \bar{y}_k - \bar{y}_l + \bar{y}_{ij} + \bar{y}_{ik} + \bar{y}_{il} + \bar{y}_{jk} + \bar{y}_{jl} + \bar{y}_{kl} - \bar{y}_{ijk} - \\
& \bar{y}_{ijl} - \bar{y}_{ikl} - \bar{y}_{jkl} + \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n (y_{ijklm} - \bar{y}_{ijkl})^2 \quad \dots (2.27)
\end{aligned}$$

Persamaan (2.27) disubstitusikan ke persamaan (2.26), sehingga menjadi :

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm}^2 &= abcdn \bar{y}^2 + bcdn \sum_{i=1}^a (\bar{y}_i - \bar{y})^2 + acdn \sum_{j=1}^b (\bar{y}_j - \bar{y})^2 + \\
&abdn \sum_{k=1}^c (\bar{y}_k - \bar{y})^2 + abc n \sum_{l=1}^d (\bar{y}_l - \bar{y})^2 + cdn \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y})^2 + \\
&bdn \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c (\bar{y}_{ik} - \bar{y}_i - \bar{y}_k + \bar{y})^2 + bcn \sum_{i=1}^a \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{il} - \bar{y}_i - \bar{y}_l + \bar{y})^2 + \\
&adn \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c (\bar{y}_{jk} - \bar{y}_j - \bar{y}_k + \bar{y})^2 + acn \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{jl} - \bar{y}_j - \bar{y}_l + \bar{y})^2 + \\
&abn \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{kl} - \bar{y}_k - \bar{y}_l + \bar{y})^2 + \\
&dn \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c (\bar{y}_{ijk} + \bar{y}_i + \bar{y}_j + \bar{y}_k - \bar{y}_{ij} - \bar{y}_{ik} - \bar{y}_{jk} - \bar{y})^2 + \\
&cn \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{ijl} + \bar{y}_i + \bar{y}_j + \bar{y}_l - \bar{y}_{ij} - \bar{y}_{il} - \bar{y}_{jl} - \bar{y})^2 + \\
&bn \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{ikl} + \bar{y}_i + \bar{y}_k + \bar{y}_l - \bar{y}_{ik} - \bar{y}_{il} - \bar{y}_{kl} - \bar{y})^2 + \\
&an \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{jkl} + \bar{y}_j + \bar{y}_k + \bar{y}_l - \bar{y}_{jk} - \bar{y}_{jl} - \bar{y}_{kl} - \bar{y})^2 + \\
&n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{ijkl} - \bar{y}_i - \bar{y}_j - \bar{y}_k - \bar{y}_l + \bar{y}_{ij} + \bar{y}_{ik} + \bar{y}_{il} + \bar{y}_{jk} + \bar{y}_{jl} + \bar{y}_{kl} - \bar{y}_{ijk} - \\
&\bar{y}_{ijl} - \bar{y}_{ikl} - \bar{y}_{jkl} + \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n (\bar{y}_{ijklm} - \bar{y}_{ijkl})^2 \dots (2.28)
\end{aligned}$$

Untuk *Sum of squares*, diketahui :

$$SS_T = SS_R + SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_{AB} + SS_{AC} + SS_{AD} + SS_{BC} + SS_{BD} + SS_{CD} + SS_{ABC} + SS_{ABD} + SS_{ACD} + SS_{BCD} + SS_{ABCD} + SS_E \quad \dots (2.29)$$

Apabila persamaan (2.28) dikonversikan ke persamaan (2.29), maka didapatkan rumus untuk *Sum of squares* sebagai berikut :

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm}^2$$

$$SS_R = abcdn \bar{y}^2$$

$$SS_A = bcdn \sum_{i=1}^a (\bar{y}_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^a \left(\frac{y_i^2}{bcdn} \right) - SS_R$$

$$SS_B = acdn \sum_{j=1}^b (\bar{y}_j - \bar{y})^2 = \sum_{j=1}^b \left(\frac{y_j^2}{acdn} \right) - SS_R$$

$$SS_C = abdn \sum_{k=1}^c (\bar{y}_k - \bar{y})^2 = \sum_{k=1}^c \left(\frac{y_k^2}{abdn} \right) - SS_R$$

$$SS_D = abc n \sum_{l=1}^d (\bar{y}_l - \bar{y})^2 = \sum_{l=1}^d \left(\frac{y_l^2}{abcn} \right) - SS_R$$

$$SS_{AB} = cdn \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y})^2$$

$$SS_{AC} = bdn \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c (\bar{y}_{ik} - \bar{y}_i - \bar{y}_k + \bar{y})^2$$

$$SS_{AD} = bcn \sum_{i=1}^a \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{il} - \bar{y}_i - \bar{y}_l + \bar{y})^2$$

$$SS_{BC} = adn \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c (\bar{y}_{jk} - \bar{y}_j - \bar{y}_k + \bar{y})^2$$

$$SS_{BD} = acn \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{jl} - \bar{y}_j - \bar{y}_l + \bar{y})^2$$

$$SS_{CD} = abn \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{kl} - \bar{y}_k - \bar{y}_l + \bar{y})^2$$

$$SS_{ABC} = dn \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c (\bar{y}_{ijk} + \bar{y}_i + \bar{y}_j + \bar{y}_k - \bar{y}_{ij} - \bar{y}_{ik} - \bar{y}_{jk} - \bar{y})^2$$

$$SS_{ABD} = cn \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{ijl} + \bar{y}_i + \bar{y}_j + \bar{y}_l - \bar{y}_{ij} - \bar{y}_{il} - \bar{y}_{jl} - \bar{y})^2$$

$$SS_{ACD} = bn \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{ikl} + \bar{y}_i + \bar{y}_k + \bar{y}_l - \bar{y}_{ik} - \bar{y}_{il} - \bar{y}_{kl} - \bar{y})^2$$

$$SS_{BCD} = an \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{jkl} + \bar{y}_j + \bar{y}_k + \bar{y}_l - \bar{y}_{jk} - \bar{y}_{jl} - \bar{y}_{kl} - \bar{y})^2$$

$$SS_{ABCD} = n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d (\bar{y}_{ijkl} - \bar{y}_i - \bar{y}_j - \bar{y}_k - \bar{y}_l + \bar{y}_{ij} + \bar{y}_{ik} + \bar{y}_{il} + \bar{y}_{jk} + \bar{y}_{jl} + \bar{y}_{kl} - \bar{y}_{ijk} - \bar{y}_{ijl} - \bar{y}_{ikl} - \bar{y}_{jkl} + \bar{y})^2$$

$$SS_E = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n (y_{ijklm} - \bar{y}_{ijkl})^2$$

2.4.6 Uji Student Newman Keuls

Apabila H_0 ditolak berarti bahwa rata-rata efek perlakuan yang bersangkutan mempunyai pengaruh yang berarti terhadap hasil eksperimen yang dilakukan. Selanjutnya untuk mengetahui level mana dari perlakuan tersebut yang sangat memberikan pengaruhnya, maka diperlukan uji tambahan.

Salah satu cara untuk menguji hal ini adalah dengan uji Student Newman Keuls. Langkah-langkah yang harus diambil untuk melakukan uji Student Newman Keuls adalah sebagai berikut :

- Menghitung nilai rata-rata (mean) dari masing-masing level pada perlakuan yang telah terbukti hipotesis nol-nya ditolak, lalu diurutkan dari nilai-nilai yang terkecil sampai yang terbesar (ada k buah nilai).
- Dari tabel ANOVA diambil nilai rata-rata jumlah kuadrat kesalahan (*mean square error* atau MS_E)
- Menentukan jumlah pengamatan pada masing-masing perlakuan (sebesar n)
- Dari MS_E dan n tersebut dihitung standar error yaitu

$$S_E = \sqrt{\frac{MS_E}{n}} \quad \dots (2.30)$$

- Dengan menggunakan tabel Distribusi Studentized Range Statistik dalam lampiran K dicatat nilai-nilai pada tabel tersebut sebanyak (k-1) untuk v dan p serta taraf α yang diinginkan.

Di dalam uji Student Newman Keuls ini,

v = derajat kebebasan MS_E

p = jumlah perlakuan yang dibandingkan = 2, 3, ..., k-1, k.

- Mengalikan nilai-nilai pada tabel Distribusi Studentized Range Statistik dengan S_E untuk mendapatkan nilai kritis W.
- Membandingkan selisih rata-rata terbesar dan terkecil pertama dengan nilai kritis untuk p = k, selisih rata-rata terbesar dan terkecil kedua dengan p = k-1 dan seterusnya.

– Pengambilan keputusan :

Jika selisih rata-rata yang didapat lebih besar daripada nilai kritis, maka dikatakan bahwa rata-rata perlakuan berbeda secara nyata pada taraf α .

2.5 Kriteria Penerimaan Kualitas Beton menurut PBI 1971

Dalam pelaksanaan menurut PBI 1971 bahwa beton dianggap memenuhi syarat bila :

1. Tidak boleh lebih dari satu nilai diantara 20 nilai hasil pemeriksaan benda uji berturut-turut terjadi kurang dari σ_{bk} .
2. Tidak boleh satupun nilai rata-rata empat hasil pemeriksaan benda uji berturut-turut terjadi kurang dari $(\sigma_{bk} + 0,82 Sr)$.
3. Selisih antara nilai tertinggi dan terendah diantara empat hasil pemeriksaan benda uji berturut-turut tidak boleh lebih besar dari 4,3 Sr.
4. Dalam segala hal, hasil pemeriksaan 20 benda uji berturut-turut harus memenuhi $\sigma_{bk}' = \sigma_{bm} - 1,64 S$.

*"Dan berkatalah: 'Ya Tuhanku,
masukkanlah aku dengan cara yang baik
dan keluarkanlah aku dengan cara yang baik pula.
Berilah aku dari sisi Engkau kekuasaan yang menolong."
(QS Al Isra': 80)*

BAB III

METODOLOGI

BAB III METODOLOGI

3.1 Metode Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data yang dipergunakan dalam penelitian dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Studi Kepustakaan (*library research*)

Suatu penelitian atau pengumpulan data dengan cara studi kepustakaan, meliputi data-data tentang petunjuk dalam pelaksanaan penelitian, teknik pengambilan sampel, metode analisis dan berbagai informasi yang berguna dalam pemecahan masalah.

2. Studi Lapangan (*field research*)

Suatu cara untuk mendapatkan data tertentu berdasarkan pada pengamatan langsung di lapangan tempat diadakan penelitian. Dalam hal ini digunakan metode :

- Interview

Yaitu dengan wawancara langsung dengan orang-orang yang memiliki hubungan langsung dengan penelitian.

- Dokumentasi

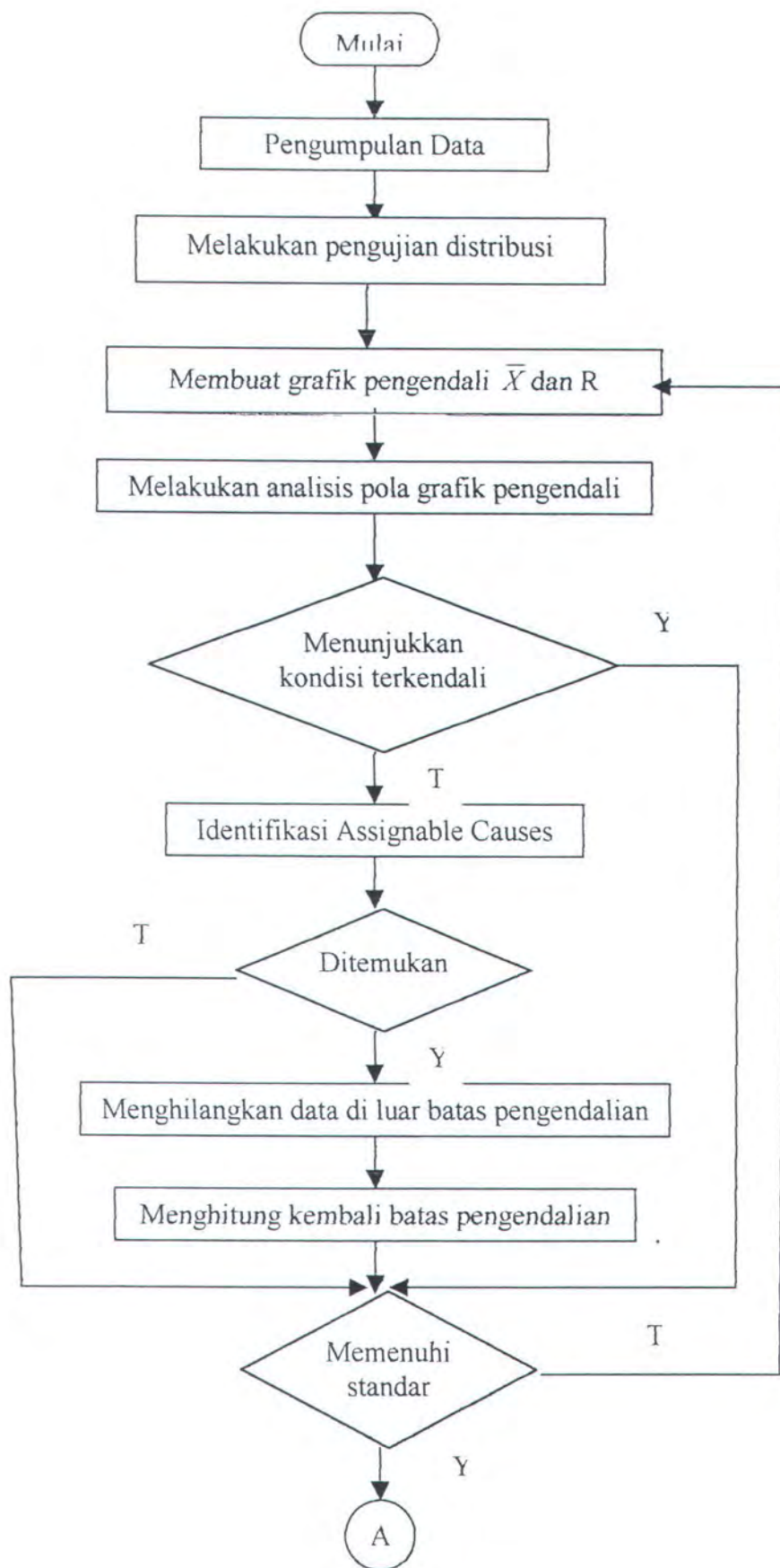
Yaitu pengumpulan data dengan mencatat dari dokumen yang berkaitan dengan obyek penelitian sebagai bukti dengan adanya permasalahan.

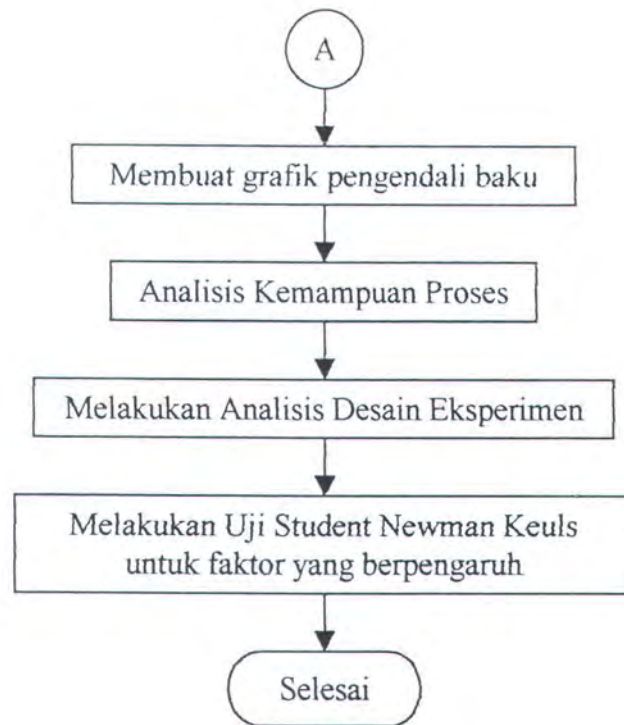
- Observasi

Yaitu mengadakan pengamatan langsung terhadap obyek yang diteliti.

3.2 Identifikasi Pemecahan Masalah

Untuk mempermudah dalam menyusun langkah pemecahan masalah, maka dilakukan identifikasi terhadap permasalahan yang terjadi. Setelah permasalahan tersebut dapat diketahui, maka langkah selanjutnya berupa penyusunan model pemecahan masalah. Dalam penyusunan model ini dipertimbangkan mengenai landasan teori apa yang akan dipakai serta menentukan bagaimana alur pemecahan masalah. Alur pemecahan masalah dalam proses produksi beton di PT Varia Usaha Beton dapat dilihat pada flowchart berikut :





Gambar 3.1 Flowchart alur pemecahan masalah

3.3 Langkah-langkah Pemecahan Masalah

Adapun langkah-langkah pemecahan masalah adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pengujian distribusi.
2. Membuat grafik pengendali.

Untuk dapat melakukan pengolahan data hasil pengamatan, maka dibuat tabel hasil uji kekuatan tekan sebagai berikut :

Subgrup	Hasil pengamatan ke				\bar{X}	R
	X_1	X_2	X_3	X_4		
1						
n						
					$\bar{\bar{X}}$	\bar{R}

Dari tabel susunan data dapat diketahui rata-rata dan nilai range kekuatan tekan beton. Untuk membuat grafik pengendali, data-data yang ada diplotkan masing-masing, \bar{X} untuk grafik pengendali \bar{X} dan \bar{R} untuk grafik pengendali R. Kemudian menghitung nilai batas pengendalian dan garis tengahnya. Karena proses produksi yang diteliti belum mempunyai nilai standar, maka untuk menghitung batas pengendaliannya digunakan persamaan berikut ini :

Untuk grafik pengendali \bar{X} :

$$\text{BPA} = \bar{X} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{Garis tengah} = \bar{X}$$

$$\text{BPB} = \bar{X} - A_2 \bar{R}$$

Untuk grafik pengendali R :

$$\text{BPA} = D_4 \bar{R}$$

$$\text{Garis tengah} = \bar{R}$$

$$\text{BPB} = D_3 \bar{R}$$

3. Analisis pola grafik pengendali

Sebagaimana diketahui bahwa tujuan dari pembuatan grafik pengendali adalah untuk mengetahui apakah proses dalam keadaan terkendali atau telah terjadi penyimpangan-penyimpangan menuju keadaan yang tidak terkendali. Untuk itu dilakukan pengamatan terhadap titik-titik pada grafik pengendali yang telah dibuat.

Bila dari hasil pengamatan terhadap titik-titik pada grafik pengendali ditemukan adanya penyimpangan, selanjutnya dilakukan analisis terhadap

penyimpangan tersebut, apakah penyimpangan disebabkan oleh faktor terduga atau tidak.

4. Membuat grafik pengendali baku

Setelah faktor utama penyebab penyimpangan dapat diidentifikasi, maka tahap berikutnya adalah melakukan perhitungan kembali terhadap batas pengendalian dengan menghilangkan data yang keluar dari batas pengendalian. Kemudian membandingkan dengan standar yang telah ditetapkan sebelumnya.

Bila proses telah memenuhi standar, maka grafik pengendali tersebut dapat dijadikan grafik pengendali baku dan dapat dipakai sebagai acuan untuk melakukan evaluasi pada proses berikutnya.

5. Analisis Kemampuan Proses

Setelah melakukan pengendalian terhadap proses yang ada, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dan perhitungan terhadap kemampuan proses. Langkah ini dilakukan setelah memperoleh kepastian bahwa proses yang sedang berlangsung dalam keadaan terkendali. Tujuan utama dari analisis kemampuan proses adalah untuk dapat menilai hubungan antara variasi alami proses dengan spesifikasi teknis produk yang ditentukan. Kemampuan proses tersebut dinyatakan dalam bentuk indeks kemampuan proses (C_p), yang didefinisikan sebagai perbandingan antara range spesifikasi dengan toleransi alami dari proses.

6. Identifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan tekan beton

Setelah grafik pengendali terbentuk dan analisis terhadap kemampuan proses dilakukan, maka selanjutnya mengidentifikasi faktor-faktor yang diduga berpengaruh terhadap kekuatan tekan beton.

7. Melakukan analisis Desain Eksperimen

Untuk menguji apakah faktor-faktor yang diduga memberikan pengaruh terhadap kualitas produk memang benar-benar berpengaruh nyata, maka dilakukan Desain Eksperimen Faktorial.

Data yang diperoleh dari hasil Desain Eksperimen dapat dijadikan sebagai informasi awal, untuk mengetahui sejauh mana pengaruh dari masing-masing faktor terhadap kekuatan tekan beton yang diharapkan.

Apabila rata-rata efek perlakuan mempunyai pengaruh yang berarti terhadap hasil eksperimen, maka untuk mengetahui level mana dari perlakuan tersebut yang berbeda secara nyata, akan dilakukan Uji Student Newman Keuls.

*"Dan katakanlah: 'Ya TuhanKu,
ampunilah daku dan berilah rahmat.
Engkau adalah pemberi rahmat yang paling baik'."*
(QS Al Mu'minin : 118)

BAB IV

DATA DAN ANALISIS DATA

BAB IV

DATA DAN ANALISIS DATA

4.1 Data Umum Proses Produksi Beton

Beton adalah bahan yang diperoleh dengan mencampurkan semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil/ batu pecah) dan air menjadi suatu massa seperti batuan, ketika campuran tersebut mengeras akibat reaksi kimia dari air dan semen.

Ketelitian dalam memilih proporsi campuran dapat menjadi sia-sia bila teknik yang tidak sesuai diperbolehkan di lapangan. Potensi kualitas beton akan berkembang hanya apabila ditimbang, dicampur, ditempatkan, dipadatkan dan dirawat dengan benar. Adapun proses produksinya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Urutan proses produksi beton

Urutan Proses	Titik-titik pengamatan yang perlu dikendalikan
Inspeksi bahan beton	- Proporsi beton - Berat per unit
Pencampuran	- Waktu dan kecepatan pengadukan - Konsistensi
Pengangkutan & penuangan	- Lama pengangkutan - Cara dan kecepatan penuangan - Temperatur lingkungan
Pemadatan	Waktu penggetaran
Penyelesaian	Penampilan visual (rata permukaan, kepadatan, dll)
Perawatan	Temperatur lingkungan

Urutan proses dalam tabel 4.1 dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Menakar (*Batching*)

Merupakan proses untuk mengukur proporsi material beton sebelum dimuat ke dalam pengaduk (*mixer*). Besarnya proporsi masing-masing bahan didapat dari perencanaan (*mix design*), dengan memakai metode DOE. Pada metode ini bahan dalam keadaan kering permukaan (*saturated surface dry*).

2. Mencampur (*Mixing*)

Material harus dicampur sampai tercampur secara merata. Ini akan terlihat pada warna dan kekentalan. Untuk mendapatkan campuran yang merata, maka urutan pengerjaannya harus diperhatikan. Pada umumnya dimulai dengan memasukkan sedikit air, lalu agregat kasar, kemudian agregat halus dan setelah itu baru semen dan sisa air ditambahkan setelah semua material masuk.

Untuk drum *mixer* dengan kapasitas 1 m³, lamanya pencampuran dan pengadukan yang dibutuhkan adalah 1,5 sampai 2 menit. Drum *mixer* harus dioperasikan pada kecepatan yang telah direncanakan.

3. Pengangkutan (*Transporting*)

Beton diangkut dengan berbagai cara, mulai dari kereta penuang (*dumper*), truk *ready mix* sampai skip dan pompa. Ada sedikitnya tiga macam gerakan yaitu dari pengaduk ke lokasi, lalu dari lokasi ke bagian yang dicor baik secara horizontal maupun vertikal.

Kereta penuang mempunyai kapasitas dari 0,3 sampai 0,75 m³. Campuran dituangkan ke depan atau ke samping. Pengangkutan secara vertikal dilakukan

dengan skip atau *bucket* dengan dibantu menara angkat (*tower crane*). Skip berkapasitas 0,2 sampai 1 m³, sementara *bucket* berkapasitas sampai 6 m³.

4. Penuangan (*Placing*)

Persiapan yang perlu dilakukan adalah merapikan dan membasahi subgrade, mendirikan acuan, memasang tulangan dan hal-hal yang terbenam lainnya. Subgrade perlu dibasahi, khususnya pada cuaca panas, supaya tidak menyerap air dari beton. Acuan harus dibuat sedemikian rupa supaya mudah dibongkar pasang dan pada saat pembongkarannya nanti tidak akan merusak beton. Acuan harus dilapisi *release agent* seperti minyak atau vernis. Untuk beton arsitektural harus memakai vernis atau emulsi *stereat* sehingga tidak membekas.

Beton harus dituangkan sedekat mungkin dengan kedudukan akhir, dengan cara secepat dan seefisien mungkin sesuai kapasitas peralatan, sehingga pemisahan dapat dihindari pada beton dan beton akan dapat dipadatkan dengan penuh dan merata. Kelambatan atau penundaan akan memberi variasi pada warna permukaan.

5. Pematatan (*Compacting*)

Setelah beton segar diaduk, diangkut dan dituangkan, ia masih mengandung udara dalam bentuk rongga-rongga udara. Pematatan perlu dilakukan untuk mengeluarkan udara tersebut sebanyak mungkin.

Rongga udara yang terdapat didalam beton akan dapat mengurangi kekuatannya. Untuk setiap 1 % udara, kekuatan beton akan menurun sebanyak

5-6 %. Selain itu rongga udara juga akan menambah permeabilitas, sehingga akan mengurangi ketahanan.

Rongga udara dapat disingkirkan dengan sekop, dirojok atau bahkan dengan diinjak. Namun pemadatan yang terbaik dan tercepat adalah dengan menggunakan penggetar (*vibrator*).

Penggetar dianggap cukup apabila telah ada tanda-tanda perubahan pada permukaan, munculnya lapisan tipis pasta yang mengkilat atau naiknya buih-buih besar udara yang terjebak ke permukaan. Kadang-kadang dilakukan dengan membedakan suaranya, yaitu pemadatan akan selesai apabila suaranya mulai terdengar konstan.

Bila sudah selesai penggetar ditarik perlahan-lahan sampai bekas lubangnya menutup kembali.

6. Penyelesaian (*Finishing*)

Dalam pelaksanaan pengecoran, diusahakan dapat diperoleh suatu hasil yang padat dan rata (tidak bersarang kerikil). Keropos dan sarang kerikil ini perlu ditutup atau ditambal. Dalam penambalan ini sebaiknya diberikan bahan tambalan yang mempunyai fungsi mempertinggi daya lekat beton lama dan baru.

Strike off atau *screeding* adalah membuang beton yang kelebihan untuk meratakan permukaan yang diharapkan, dengan gerakan seperti menggergaji secara horizontal.

Floating adalah membenamkan agregat yang persis di bawah permukaan, menyingkirkan cacat dan memadatkan mortar pada permukaan sebagai persiapan operasi *finishing*.

7. Perawatan (*Curing*)

Perawatan adalah melindungi beton terhadap pengaruh sinar matahari langsung dan kekeringan udara untuk mencegah kehilangan air. Jumlah air di dalam beton sebenarnya sudah lebih dari cukup untuk menyelesaikan reaksi hidrasi. Namun air hilang karena menguap, sehingga hidrasi selanjutnya terganggu. Karena hidrasi relatif cepat pada hari-hari pertama, perawatan paling penting adalah pada umur beton masih muda. Kehilangan air yang cepat juga menyebabkan beton menyusut, terjadi tegangan tarik pada beton yang sedang mengering, sehingga menimbulkan retak. Beton yang dirawat selama tujuh hari akan lebih kuat sekitar 50 % daripada tidak dirawat.

Jadi perawatan perlu untuk mengisi pori-pori kapiler dengan air, karena hidrasi terjadi di dalamnya. Untuk mencegah hilangnya air karena penguapan, maka beton perlu dirawat dengan cara :

- Cara terus memberi air.

Dengan menggenangi, membuat empang, menyemprot, memberi kabut atau memberi penutup yang basah.

- Cara mencegah hilangnya air dari permukaan.

Dengan lapisan tipis dari kertas tak tembus air atau membran kimiawi cair, yang dapat memperlambat atau mengurangi penguapan.

- Cara mempercepat dicapainya kekuatan dengan memberi panas atau kelengasan dengan uap air, coil pemanas atau bekisting yang dipakai secara elektrik. Bila temperatur dinaikkan, maka hidrasi akan lebih cepat, sehingga didapat kekuatan awal yang tinggi, adapun pemanasan yang diberikan di sini adalah dengan uap air, sehingga beton tetap dalam keadaan jenuh air.



4.2 Pengendalian Kualitas

4.2.1 Data Pengendalian Kualitas

Pengambilan sampel dilakukan secara random. Dengan mengacu pada Landasan Teori sub bab 2.3.5, ukuran sampel dalam satu subgrup ditetapkan sebanyak empat buah dan banyaknya subgrup adalah 20. Hasil data sampel berupa pengukuran kekuatan tekan beton klas K225 dan hasil perhitungan \bar{X} dan R dapat dilihat pada lampiran A1.

4.2.2 Pengujian Distribusi

Hipotesis-hipotesis :

$$H_0 : S(x) = F_0(x)$$

$$H_1 : S(x) \neq F_0(x)$$

Dengan $S(x)$ = fungsi distribusi sampel

$F_0(x)$ = fungsi distribusi populasi berdistribusi Normal

Uji Statistik

Karena uji Dua sisi, uji statistik dihitung dengan

$$D_n = \sup_x |S(x) - F_0(x)|$$

Sebelum menghitung uji statistik, terlebih dahulu menduga rata-rata μ dan varians σ^2 dari populasi yang diwakili oleh sampel.

$$\text{Rata-rata} \quad : \hat{\mu} = \sum_{i=1}^r \frac{f_i \cdot x_i}{n}$$

$$\text{Varians} \quad : \hat{\sigma}^2 = \frac{n \sum_{i=1}^r f_i \cdot x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^r f_i \cdot x_i \right)^2}{n(n-1)}$$

Dengan f_i = frekuensi pengamatan ke- i

x_i = nilai pengamatan ke- i

$$n = \sum_{i=1}^r f_i = 20$$

Dari perhitungan didapat $\hat{\mu} = 310,6585$ dan $\hat{\sigma} = 28,66406026$.

Selanjutnya dihitung nilai $D_n = \sup_x |S(x) - F_0(x)|$, yang perhitungannya

bisa dilihat di lampiran B. Dari perhitungan didapat maksimum dari $|S(x) - F_0(x)|$ terdapat pada $x = 274,25$ dan bernilai sama dengan 0,098 ($D_n = 0,098$).

Pengambilan keputusan :

Menolak H_0 pada taraf nyata α jika uji statistik yang diminati, D_n , lebih besar dari kuantil $1-\alpha$ yang terdapat pada tabel Kuantil Uji Kolmogorov-Smirnov

pada lampiran F. Untuk $\alpha = 0,05$ didapat kuantil $1-\alpha$ pada tabel Kuantil Uji Kolmogorov-Smirnov yaitu sebesar 0,136.

Karena Uji Statistik D_n lebih kecil dari kuantil $1-\alpha$ pada tabel Kuantil Uji Kolmogorov-Smirnov, maka H_0 diterima, yang berarti $S(x) = F_0(x)$ dan dapat disimpulkan bahwa data yang diamati berdistribusi Normal. Hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran B.

4.2.3 Grafik Pengendali \bar{X} dan R

Dari data hasil pengukuran kekuatan tekan beton pada lampiran A1, didapatkan nilai rata-rata \bar{X} dan nilai range R. Nilai rata-rata \bar{X} untuk setiap subgrup didapat dengan menjumlahkan nilai setiap pengukuran pada subgrup dan membaginya dengan banyaknya pengukuran untuk satu subgrup. Sedangkan untuk nilai range R tiap subgrup didapat dengan mengurangkan nilai tertinggi dengan nilai terendah pada masing-masing subgrup. Hal ini dirumuskan sebagai berikut.

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^4 X_{ij}}{4}$$

$$R_i = X_{i \max} - X_{i \min}$$

Sedangkan untuk keseluruhan subgrup nilai rata-rata dan nilai range R, yang keduanya merupakan garis pusat grafik pengendali \bar{X} dan R didapat dengan rumus sebagai berikut.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{20} \bar{X}_i}{20}$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{20} R_i}{20}$$

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan rumus di atas didapatkan

$$\bar{X} = 310,66$$

$$\bar{R} = 72,01$$

Sedangkan untuk batas-batas pengendalian dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Grafik Pengendali } \bar{X} : \text{BPA} = \bar{X} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{BPB} = \bar{X} - A_2 \bar{R}$$

$$\text{Grafik Pengendali } R : \text{BPA} = D_4 \bar{R}$$

$$\text{BPB} = D_3 \bar{R}$$

Dari tabel pada lampiran G, didapatkan $A_2 = 0,73$, $D_3 = 0$ dan $D_4 = 2,28$

Maka dari hasil perhitungan akan didapatkan :

Grafik Pengendali \bar{X} :

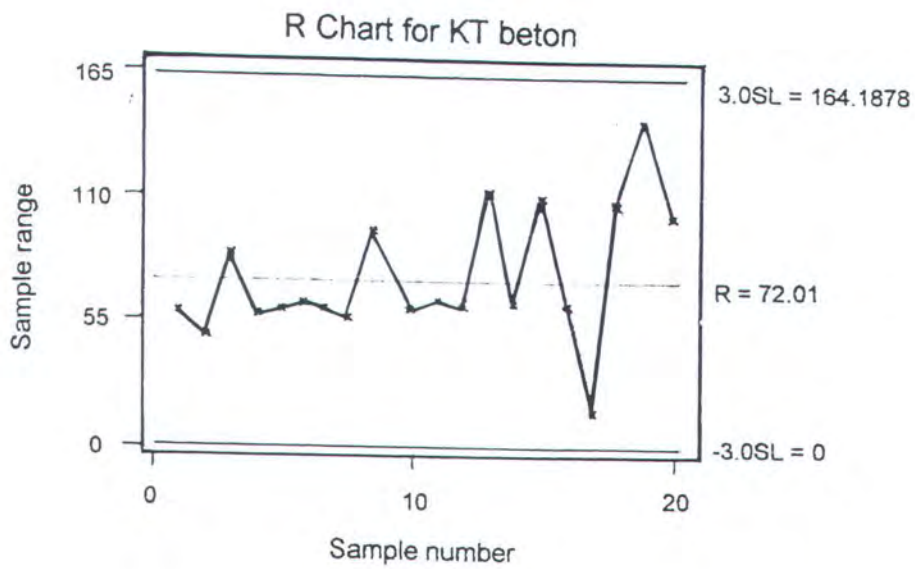
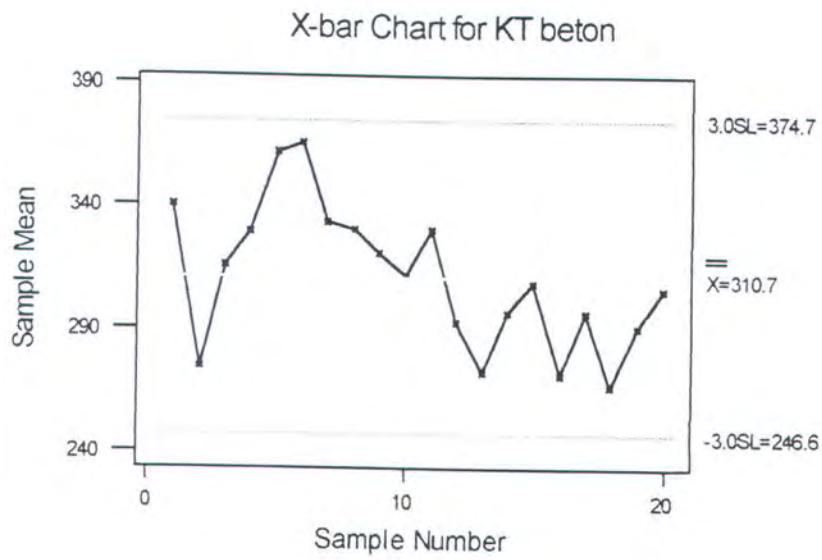
$$\text{BPA} = 310,66 + 0,73 (72,01) = 374,7$$

$$\text{BPB} = 310,66 - 0,73 (72,01) = 246,6$$

Grafik Pengendali R :

$$\text{BPA} = 2,28 (72,01) = 164,1828$$

$$\text{BPB} = 0$$



Gambar 4.1 Hasil plot batas-batas pengendalian

Setelah batas-batas pengendalian diplot, terlihat bahwa hasil plot pada gambar di atas menunjukkan keseluruhan dari kekuatan tekan beton berada dalam batas pengendalian.

4.2.4 Analisis Kemampuan Proses

Seperti telah diketahui dari hasil uji Kolmogorov-Smirnov bahwa karakteristik kualitas kekuatan tekan beton berdistribusi normal dengan mean μ dan standar deviasi σ' , maka dapat dilakukan analisis kemampuan proses untuk satu sisi dengan penyebaran 3-sigma.

Taksiran standar deviasi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\sigma' = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{72,01}{2,059} = 34,9733$$

dan batas spesifikasi bawah (BSB) = 225 kg/ cm². Nilai d_2 bisa dilihat dalam lampiran I. Dengan demikian nilai perbandingan kemampuan proses didapatkan sebagai berikut :

$$C_p = \frac{\mu - \text{BSB}}{3 \sigma'} = \frac{310,66 - 225}{104,9198} = 0,8164$$

Dengan mengasumsikan kekuatan tekan beton berdistribusi normal dengan mean 310,66 kg/ cm² dan berstandar deviasi 34,9733 kg/ cm², maka probabilitas kekuatan tekan beton yang tidak memenuhi standar adalah

$$\begin{aligned} \hat{p} &= p(x < 225) \\ &= p\left(z < \frac{225 - 310,66}{34,9733}\right) \\ &= p(z < -2,459) \\ &= 0,0071 \end{aligned}$$

Jadi kira-kira 0,71 % kekuatan tekan beton tidak memenuhi batas spesifikasi karakteristik.

4.2.5 Spesifikasi Beton Berdasarkan PBI 1971

Di perusahaan, spesifikasi untuk menilai kualitas beton dan mutu pelaksanaan kekuatan tekan beton, telah ditetapkan berdasarkan aturan PBI 1971.

Hasil perhitungan spesifikasi beton berdasarkan PBI 1971 dari data yang terdapat dalam lampiran A2 adalah sebagai berikut :

1. Tidak boleh lebih dari satu nilai diantara 20 hasil pemeriksaan benda uji berturut-turut terjadi kurang dari σ'_{bk} (kekuatan tekan beton karakteristik = 225 kg/cm^2).

Dalam penelitian ini diambil sampel sebesar 20 pada lampiran A2. Dari 20 nilai pemeriksaan benda uji tidak didapat kekuatan tekan beton yang kurang dari 225 kg/cm^2 .

2. Tidak boleh satupun nilai rata-rata dari 4 hasil pemeriksaan benda uji berturut-turut terjadi kurang dari $\sigma'_{bk} + 0,82 S_r = 253,7$, dimana S_r adalah standar deviasi rencana sebesar 35.

Dari data pada lampiran A2 terlihat bahwa proses berada dalam batas spesifikasi.

3. Selisih antara nilai tertinggi dan terendah diantara 4 hasil pemeriksaan tidak boleh lebih dari $4,3 S_r = 150,5$.

Dari data pada lampiran A2 tidak terdapat nilai R yang lebih besar dari 150,5.

4. Dalam segala hal, hasil pemeriksaan 20 benda uji berturut-turut (σ'_{bm}) harus tidak boleh kurang dari $\sigma'_{bk} + 1,27 S_r = 269,45$.

$$\sigma'_{bm} = \frac{\sum \sigma_b}{20} = 324,1$$

Dapat disimpulkan bahwa $\sigma'_{bm} > \sigma'_{bk} + 1,27 S_r$, sehingga syarat 4 dapat terpenuhi.

Karena persyaratan PBI 1971 semua terpenuhi maka kualitas beton dan mutu pelaksanaannya dikatakan memenuhi syarat.

4.3 Desain Eksperimen

4.3.1 Pemilihan Faktor dalam Proses Produksi

Guna mengurangi keragaman dari suatu proses, maka perlu ditentukan faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya keragaman proses tersebut, sehingga diadakan pemilihan terhadap faktor yang diduga berpengaruh.

Pembuatan beton memerlukan beberapa jenis material yaitu agregat kasar (kerikil/ batu pecah), agregat halus (pasir) dan semen. Dalam eksperimen ini hanya meninjau perbedaan agregat kasar dan agregat halus saja, sedangkan semen yang dipakai dianggap tetap.

Material tersebut akan dicampur pada suatu mesin pengaduk dengan diberi air dalam jangka waktu tertentu. Karena waktu yang biasanya dipakai berkisar antara 1,5 sampai 2 menit, sehingga dalam melaksanakan eksperimen ini lama pengadukan diabaikan (dianggap sama).

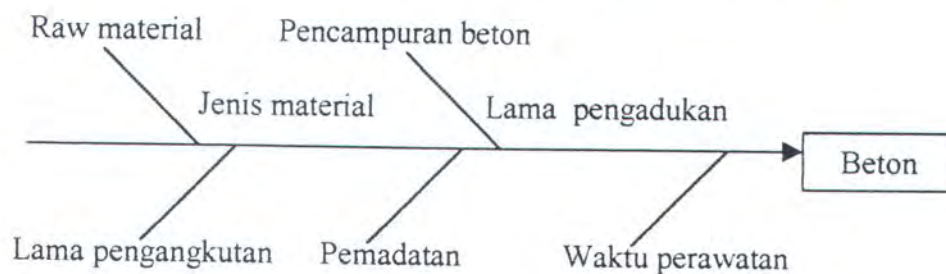
Beton kemudian diangkut ke lokasi (konsumen) dengan lama pangangkutan tergantung jarak dari perusahaan ke konsumen.

Setelah itu beton segar dituangkan sedekat mungkin dengan kedudukan akhir. Karena ia masih mengandung udara dalam bentuk rongga-rongga udara, maka pemadatan perlu dilakukan untuk mengeluarkan udara tersebut sebanyak

mungkin. Namun pengukuran waktu dalam tahap ini sulit dilakukan, karena dipengaruhi oleh komposisi beton yang diinginkan.

Kemudian beton akan memasuki tahap perawatan yang merupakan upaya untuk melindungi beton dari pengaruh sinar matahari langsung dan kekeringan udara untuk mencegah kehilangan air.

Diagram *cause effect* dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4.2 Diagram *cause effect* proses produksi beton

Setelah mengamati proses produksi yang dijalankan dalam pembuatan beton tersebut, maka dipilih beberapa faktor (serta level untuk masing-masing faktor) yang diduga mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tekan beton. Faktor-faktor tersebut adalah :

A : Jenis pasir yang digunakan

A₁ : Pasir Lumajang

A₂ : Pasir Kali

B : Jenis kerikil yang digunakan

B₁ : Kerikil UPB

B₂ : Kerikil Kali

C : Lama waktu yang ditempuh dari perusahaan ke konsumen (menit)

$C_1 : 30$

$C_2 : 40$

D : Lama waktu perawatan (hari)

$D_1 : 7$

$D_2 : 28$

Sehingga dalam hal ini faktor A, B, C dan D merupakan variabel bebas (independen), sedangkan variabel tak bebas (dependen)nya adalah kekuatan tekan beton. $X_1 = A$, $X_2 = B$, $X_3 = C$, $X_4 = D$ dan $Y =$ kekuatan tekan beton (kg/cm^2)

Hubungan antara variabel tak bebas Y dengan variabel X_i adalah

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, X_4) + \varepsilon$$

$$\varepsilon = \text{error (kesalahan) yang diasumsikan iid } N(0, \sigma^2)$$

4.3.2 Pelaksanaan Eksperimen

Eksperimen yang dijalankan melibatkan empat buah faktor dengan dua level untuk masing-masing faktor. Jumlah keseluruhan kombinasi perlakuan adalah $2^4 = 16$, yang dalam hal ini jumlah sebesar itu adalah untuk satu kali eksperimen faktorial penuh (*full factorial experiment*).

Untuk mengetahui besarnya kesalahan murni, maka eksperimen faktorial penuh ini akan diulang sebanyak dua kali (dua kali replikasi), jadi jumlah keseluruhan eksperimen adalah $2 \times 16 = 32$ eksperimen. Selama eksperimen dijalankan tetap diingat mengenai hal-hal pengacakan (*randomization*) di dalam menentukan urutan perlakuan.

Hasil kekuatan tekan beton yang telah dites di laboratorium disusun pada tabel berikut.

Tabel 4.2 Data hasil eksperimen pengukuran kekuatan tekan beton

		C ₁		C ₂	
		D ₁	D ₂	D ₁	D ₂
A ₁	B ₁	239,87	289,00	202,30	286,05
		222,53	303,45	210,97	234,09
	B ₂	186,70	347,50	172,24	224,66
		182,20	341,80	198,17	230,42
A ₂	B ₁	144,50	277,77	202,30	306,34
		144,50	276,33	199,41	315,91
	B ₂	151,28	299,14	202,31	305,17
		164,31	311,04	207,61	361,15

4.3.3 Uji Asumsi Residual

Hasil analisis residual untuk mengetahui apakah residual independen, identik dan berdistribusi normal, dapat dilihat dalam lampiran D, yang akan dijelaskan sebagai berikut :

- Untuk Plot Residual Independent, harga autokorelasi berada dalam interval

$$\left(-\frac{2}{\sqrt{32}}, \frac{2}{\sqrt{32}} \right) \text{ atau } (-0,353, 0,353).$$

- Untuk Plot Residual Identik, penyebarannya tidak menunjukkan kecenderungan naik atau turun dan berada dalam interval yang diharapkan.
- Untuk Plot Residual Distribusi Normal, hasil plot mendekati garis lurus yang berarti asumsi residual berdistribusi normal terpenuhi.

4.3.4 Analisis Varians

Analisis Varians (ANOVA) dilakukan untuk menguji keberartian pengaruh faktor-faktor dan interaksi antar faktor terhadap hasil eksperimen. Data pada tabel 4.2 menggunakan metode Yates dan perhitungan dengan jalan biasa dalam menghitung jumlah kuadrat (*sum of squares*) masing-masing faktor dan interaksi antar faktor.

Dengan melihat tabel tanda koefisien efek di lampiran E, dihitung masing-masing *sum of squares (SS)* yaitu dengan persamaan sebelumnya. Data-data pada setiap sel kombinasi dijumlahkan dahulu, yang hasilnya terlihat pada tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3 Data eksperimen faktorial 2⁴

(setiap sel telah dijumlahkan)

		C ₁		C ₂	
		D ₁	D ₂	D ₁	D ₂
A ₁	B ₁	(1) 462,40	d 592,45	c 413,27	cd 520,14
	B ₂	b 368,90	bd 689,30	bc 370,41	bcd 455,08
A ₂	B ₁	a 289,00	ad 554,10	ac 401,71	acd 622,25
	B ₂	ab 315,59	abd 610,18	abc 409,92	abcd 666,32

Perhitungan SS adalah sebagai berikut :

$$SS_A = \frac{(\text{contrast A})^2}{2 \times 2^4}$$

$$\text{Contrast A} = -2,88$$

$$SS_A = \frac{(-2,88)^2}{32} = 0,259$$

Dengan cara yang sama didapat hasil SS untuk faktor-faktor dan interaksi antar faktor yang lainnya, yang secara lengkap bisa dilihat di lampiran L. Adapun perhitungan dengan jalan biasa juga di lampiran L. Hasil keseluruhan dapat dilihat pada tabel ANOVA untuk uji keberartian pengaruh seperti tertera pada tabel berikut ini.

Tabel 4.4 ANOVA hasil eksperimen faktorial 2⁴

Sumber Variasi	dk	Sum of Squares	Mean Squares	F _{hitung}
Rata-rata	1	1872605,958	-	-
Perlakuan A	1	0,259	0,259	1,087946166 . 10 ⁻³
Perlakuan B	1	28,841	28,841	0,121148476
Perlakuan C	1	16,273	16,273	0,068355783
Perlakuan D	1	88055,159	88055,159	369,8813614
Perlakuan AB	1	1792,817	1792,817	7,530843169
Perlakuan AC	1	14683,839	14683,839	61,68041056
Perlakuan AD	1	4866,898	4866,898	20,44371821
Perlakuan BC	1	627,121	627,121	2,634262113
Perlakuan BD	1	1703,830	1703,830	7,157047549
Perlakuan CD	1	3647,861	3647,861	15,32307486
Perlakuan ABC	1	204,414	204,414	0,858654160
Perlakuan ABD	1	330,236	330,236	1,387177567
Perlakuan ACD	1	969,761	969,761	4,073543481
Perlakuan BCD	1	1328,443	1328,443	5,580210301
Perlakuan ABCD	1	1497,686	1497,868	6,291126413
Error	16	3809,012	238,06325	
Jumlah	32	1996168,399		

Uji hipotesa yang dilakukan adalah :

H_0 : perlakuan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan (berarti) terhadap hasil eksperimen

H_1 : perlakuan mempunyai pengaruh yang signifikan (berarti) terhadap hasil eksperimen

F_{tabel} untuk *confidence level* 95 % ($\alpha = 5\%$) $\rightarrow F(1, 16, 5\%) = 4,494$.

Sehingga diperoleh

Faktor A : $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$

Faktor B : $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$

Faktor C : $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$

Faktor D : $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$

Interaksi faktor A dan B : $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$

Interaksi faktor A dan C : $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$

Interaksi faktor A dan D : $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$

Interaksi faktor B dan C : $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$

Interaksi faktor B dan D : $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$

Interaksi faktor C dan D : $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$

Interaksi faktor A, B dan C : $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$

Interaksi faktor A, B dan D : $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$

Interaksi faktor A, C dan D : $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$

Interaksi faktor B, C dan D : $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$

Interaksi faktor A, B, C dan D : $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$

Jadi dari perhitungan di atas, dapat disimpulkan

- H_{01} diterima untuk faktor A (pasir), artinya faktor pasir tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil eksperimen.
- H_{02} diterima untuk faktor B (kerikil) artinya faktor kerikil tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil eksperimen.
- H_{03} diterima untuk faktor C (lama waktu pengangkutan), artinya faktor lama waktu pengangkutan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil eksperimen.
- H_{04} ditolak untuk faktor D (lama waktu perawatan), artinya faktor lama waktu perawatan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil eksperimen. Karena H_{04} ditolak, maka untuk mengetahui lama waktu perawatan mana yang berbeda, maka perlu dilakukan uji Student Newman Keuls.
- H_{05} ditolak untuk interaksi faktor A dan B (pasir dan kerikil), artinya interaksi faktor pasir dan kerikil mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil eksperimen. Karena H_{05} ditolak, maka untuk mengetahui faktor pasir dan kerikil mana yang berbeda, maka perlu dilakukan uji Student Newman Keuls.
- H_{06} ditolak untuk interaksi faktor A dan C (pasir dan lama waktu pengangkutan), artinya interaksi faktor pasir dan lama waktu pengangkutan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil eksperimen. Karena H_{06} ditolak, maka untuk mengetahui faktor pasir dan lama waktu pengangkutan mana yang berbeda, maka perlu dilakukan uji Student Newman Keuls.
- H_{07} ditolak untuk interaksi faktor A dan D (pasir dan lama waktu perawatan), artinya interaksi faktor pasir dan lama waktu perawatan mempunyai pengaruh

yang signifikan terhadap hasil eksperimen. Karena H_{07} ditolak, maka untuk mengetahui faktor pasir dan lama waktu perawatan mana yang berbeda, maka perlu dilakukan uji Student Newman Keuls.

- H_{08} diterima untuk interaksi faktor B dan C (kerikil dan lama waktu pengangkutan) artinya interaksi faktor kerikil dan lama waktu pengangkutan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil eksperimen.
- H_{09} ditolak untuk interaksi faktor B dan D (kerikil dan lama waktu perawatan), artinya interaksi faktor kerikil dan lama waktu perawatan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil eksperimen. Karena H_{09} ditolak, maka untuk mengetahui faktor kerikil dan lama waktu perawatan mana yang berbeda, maka perlu dilakukan uji Student Newman Keuls.
- H_{010} ditolak untuk interaksi faktor C dan D (lama waktu pengangkutan dan perawatan), artinya interaksi faktor lama waktu pengangkutan dan perawatan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil eksperimen. Karena H_{010} ditolak, maka untuk mengetahui faktor lama waktu pengangkutan dan perawatan mana yang berbeda, maka perlu dilakukan uji Student Newman Keuls.
- H_{011} diterima untuk interaksi faktor A, B dan C (pasir, kerikil dan lama waktu pengangkutan) artinya interaksi faktor pasir, kerikil dan lama waktu pengangkutan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil eksperimen.

- H_{012} diterima untuk interaksi faktor A, B dan D (pasir, kerikil dan lama waktu perawatan) artinya interaksi faktor pasir, kerikil dan lama waktu perawatan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil eksperimen.
- H_{013} diterima untuk interaksi faktor A, C dan D (pasir, lama waktu pengangkutan dan perawatan) artinya interaksi faktor pasir, lama waktu pengangkutan dan perawatan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil eksperimen.
- H_{014} ditolak untuk interaksi faktor B, C dan D (kerikil, lama waktu pengangkutan dan perawatan), artinya interaksi faktor kerikil, lama waktu pengangkutan dan perawatan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil eksperimen. Karena H_{014} ditolak, maka untuk mengetahui faktor pasir, lama waktu pengangkutan dan perawatan mana yang berbeda, maka perlu dilakukan uji Student Newman Keuls.
- H_{015} ditolak untuk interaksi faktor A, B, C dan D (pasir, kerikil, lama waktu pengangkutan dan perawatan), artinya interaksi faktor pasir, kerikil, lama waktu pengangkutan dan perawatan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil eksperimen. Karena H_{015} ditolak, maka untuk mengetahui faktor pasir, kerikil, lama waktu pengangkutan dan perawatan mana yang berbeda, maka perlu dilakukan uji Student Newman Keuls.

4.3.5 Uji Student Newman Keuls untuk Perlakuan yang Berpengaruh

Dari hasil pembahasan sebelumnya diperoleh hasil yang menunjukkan adanya faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas

kekuatan tekan beton. Selanjutnya perlu dilakukan uji Student Newman Keuls terhadap faktor-faktor tersebut untuk mengetahui level atau taraf mana saja yang berbeda secara nyata terhadap kualitas kekuatan tekan beton.

4.3.5.1 Uji SNK untuk Faktor Lama Waktu Perawatan

Dari tabel pada lampiran C untuk nilai rata-rata perlakuan, maka setelah disusun menurut langkah 1 diperoleh data sebagai berikut :

Perlakuan	D ₁	D ₂
Rata-rata	189,45000	294,36375

Standar error untuk tiap perlakuan

$$S_E = \sqrt{\frac{MS_E}{n}} = \sqrt{\frac{238,06325}{16}} = 3,857324607$$

Dari tabel *Studentized Range Statistic* pada lampiran K dengan $\alpha = 5\%$ dan $v = 16$, didapat harga-harga

p	2
q 0,05(p,16)	3,00
S _E	3,857324607
W	11,57197382

Tabel 4.5 Hasil Uji SNK untuk faktor lama waktu perawatan

Perbandingan antar perlakuan	Wilayah (range)	Nilai pembandingan	Hasil pembandingan
D ₁ vs D ₂	104,91325	11,57197382	Nyata

4.3.5.2 Uji SNK untuk Interaksi Faktor Pasir dan Kerikil

Dari tabel pada lampiran C untuk nilai rata-rata perlakuan, maka setelah disusun menurut langkah 1 diperoleh data sebagai berikut :

Perlakuan	A ₂ B ₁	A ₁ B ₂	A ₁ B ₁	A ₂ B ₂
Rata-rata	233,38250	235,46125	248,53250	250,25125

Standar error untuk tiap perlakuan

$$S_E = \sqrt{\frac{MS_E}{n}} = \sqrt{\frac{238,06325}{8}} = 5,455080774$$

Dari tabel *Studentized Range Statistic* pada lampiran K dengan $\alpha = 5\%$ dan $v = 16$, didapat harga-harga

p	2	3	4
q 0,05(p,16)	3,00	3,65	4,05
S _E	5,455080774		
W	16,36524232	19,91104483	22,09307713

Tabel 4.6 Hasil uji SNK untuk interaksi pasir dan kerikil

Perbandingan antar perlakuan	Wilayah (range)	Nilai pembandingan	Hasil pembandingan
A ₂ B ₂ vs A ₁ B ₁	1,71875	16,36524232	Tidak nyata
A ₂ B ₂ vs A ₁ B ₂	14,79000	19,91104483	Tidak nyata
A ₂ B ₂ vs A ₂ B ₁	16,86875	22,09307713	Tidak nyata
A ₁ B ₁ vs A ₁ B ₂	13,07125	16,36524232	Tidak nyata
A ₁ B ₁ vs A ₂ B ₁	15,15000	19,91104483	Tidak nyata
A ₁ B ₂ vs A ₂ B ₁	2,07875	16,36524232	Tidak nyata

4.3.5.3 Uji SNK untuk Interaksi Pasir dan Lama Waktu Pengangkutan

Dari tabel pada lampiran C untuk nilai rata-rata perlakuan, maka setelah disusun menurut langkah 1 diperoleh data sebagai berikut :

Perlakuan	A ₁ C ₂	A ₂ C ₁	A ₂ C ₂	A ₁ C ₁
Rata-rata	219,86250	221,10875	262,52500	264,13125

Standar error untuk tiap perlakuan

$$S_E = \sqrt{\frac{MS_E}{n}} = \sqrt{\frac{238,06325}{8}} = 5,455080774$$

Dari tabel *Studentized Range Statistic* pada lampiran K dengan $\alpha = 5\%$ dan $v = 16$, didapat harga-harga

p	2	3	4
q 0,05(p,16)	3,00	3,65	4,05
S _E	5,455080774		
W	16,36524232	19,91104483	22,09307713

Tabel 4.7 Hasil uji SNK untuk interaksi pasir dan lama waktu pengangkutan

Perbandingan antar perlakuan	Wilayah (range)	Nilai pembandingan	Hasil pembandingan
A ₁ C ₁ vs A ₂ C ₂	1,60625	16,36524232	Tidak nyata
A ₁ C ₁ vs A ₂ C ₁	43,02250	19,91104483	Nyata
A ₁ C ₁ vs A ₁ C ₂	44,26875	22,09307713	Nyata
A ₂ C ₂ vs A ₂ C ₁	41,41625	16,36524232	Nyata
A ₂ C ₂ vs A ₁ C ₂	42,66250	19,91104483	Nyata
A ₂ C ₁ vs A ₁ C ₂	1,24625	16,36524232	Tidak nyata

4.3.5.4 Uji SNK untuk Interaksi Pasir dan Lama Waktu Perawatan

Dari tabel pada lampiran C untuk nilai rata-rata perlakuan, maka setelah disusun menurut langkah 1 diperoleh data sebagai berikut :

Perlakuan	A ₂ D ₁	A ₁ D ₁	A ₁ D ₂	A ₂ D ₂
Rata-rata	177,02750	201,87250	282,12125	306,60625

Standar error untuk tiap perlakuan

$$S_E = \sqrt{\frac{MS_E}{n}} = \sqrt{\frac{238,06325}{8}} = 5,455080774$$

Dari tabel *Studentized Range Statistic* pada lampiran K dengan $\alpha = 5\%$ dan $v = 16$, didapat harga-harga

p	2	3	4
q 0,05(p,16)	3,00	3,65	4,05
S _E	5,455080774		
W	16,36524232	19,91104483	22,09307713

Tabel 4.8 Hasil uji SNK untuk interaksi pasir dan lama waktu perawatan

Perbandingan antar perlakuan	Wilayah (range)	Nilai pembandingan	Hasil pembandingan
A ₂ D ₂ vs A ₁ D ₂	21,48500	16,36524232	Nyata
A ₂ D ₂ vs A ₁ D ₁	104,73375	19,91104483	Nyata
A ₂ D ₂ vs A ₂ D ₁	129,57875	22,09307713	Nyata
A ₁ D ₂ vs A ₁ D ₁	80,24875	16,36524232	Nyata
A ₁ D ₂ vs A ₂ D ₁	105,09375	19,91104483	Nyata
A ₁ D ₁ vs A ₂ D ₁	24,84500	16,36524232	Nyata

4.3.5.5 Uji SNK untuk Interaksi Kerikil dan Lama Waktu Perawatan

Dari tabel pada lampiran C untuk nilai rata-rata perlakuan, maka setelah disusun menurut langkah 1 diperoleh data sebagai berikut :

Perlakuan	B ₂ D ₁	B ₁ D ₁	B ₁ D ₂	B ₂ D ₂
Rata-rata	183,10250	195,79750	286,11750	302,61000

Standar error untuk tiap perlakuan

$$S_E = \sqrt{\frac{MS_E}{n}} = \sqrt{\frac{238,06325}{8}} = 5,455080774$$

Dari tabel *Studentized Range Statistic* pada lampiran K dengan $\alpha = 5\%$ dan $v = 16$, didapat harga-harga

p	2	3	4
q 0,05(p,16)	3,00	3,65	4,05
S _E	5,455080774		
W	16,36524232	19,91104483	22,09307713

Tabel 4.9 Hasil uji SNK untuk interaksi kerikil dan lama waktu perawatan

Perbandingan antar perlakuan	Wilayah (range)	Nilai pembandingan	Hasil pembandingan
B ₂ D ₂ vs B ₁ D ₂	16,49250	16,36524232	Nyata
B ₂ D ₂ vs B ₁ D ₁	106,81250	19,91104483	Nyata
B ₂ D ₂ vs B ₂ D ₁	119,50750	22,09307713	Nyata
B ₁ D ₂ vs B ₁ D ₁	90,32000	16,36524232	Nyata
B ₁ D ₂ vs B ₂ D ₁	103,01500	19,91104483	Nyata
B ₁ D ₁ vs B ₂ D ₁	12,69500	16,36524232	Tidak nyata

4.3.5.6 Uji SNK untuk Interaksi Lama Waktu Pengangkutan dan Lama Waktu Perawatan

Dari tabel pada lampiran C untuk nilai rata-rata perlakuan, maka setelah disusun menurut langkah 1 diperoleh data sebagai berikut :

Perlakuan	C ₁ D ₁	C ₂ D ₁	C ₂ D ₂	C ₁ D ₂
Rata-rata	179,48625	199,41375	282,97375	305,75375

Standar error untuk tiap perlakuan

$$S_E = \sqrt{\frac{MS_E}{n}} = \sqrt{\frac{238,06325}{8}} = 5,455080774$$

Dari tabel *Studentized Range Statistic* pada lampiran K dengan $\alpha = 5\%$ dan $v = 16$, didapat harga-harga

p	2	3	4
q 0,05(p,16)	3,00	3,65	4,05
S _E	5,455080774		
W	16,36524232	19,91104483	22,09307713

Tabel 4.10 Hasil uji SNK untuk interaksi lama waktu pengangkutan dan lama waktu perawatan

Perbandingan antar perlakuan	Wilayah (range)	Nilai pembanding	Hasil pembanding
C ₁ D ₂ vs C ₂ D ₂	22,78000	16,36524232	Nyata
C ₁ D ₂ vs C ₂ D ₁	106,34000	19,91104483	Nyata
C ₁ D ₂ vs C ₁ D ₁	126,26750	22,09307713	Nyata
C ₂ D ₂ vs C ₂ D ₁	83,56000	16,36524232	Nyata
C ₂ D ₂ vs C ₁ D ₁	103,48750	19,91104483	Nyata
C ₂ D ₁ vs C ₁ D ₁	19,92750	16,36524232	Nyata

4.3.5.7 Uji SNK untuk Interaksi Kerikil, Lama Waktu Pengangkutan dan Lama Waktu Perawatan

Dari tabel pada lampiran C untuk nilai rata-rata perlakuan, maka setelah disusun menurut langkah 1 diperoleh data sebagai berikut :

Perla- kuan	B ₂ C ₁ D ₁	B ₁ C ₁ D ₁	B ₂ C ₂ D ₁	B ₁ C ₂ D ₁	B ₂ C ₂ D ₂	B ₁ C ₂ D ₂	B ₁ C ₁ D ₂	B ₂ C ₁ D ₂
Rata- rata	171, 12250	187, 85000	195, 08250	203, 74500	280, 35000	285, 59750	286, 63750	324, 87000

Standar error untuk tiap perlakuan

$$S_E = \sqrt{\frac{MS_E}{n}} = \sqrt{\frac{238,06325}{4}} = 7,714649214$$

Dari tabel *Studentized Range Statistic* pada lampiran K dengan $\alpha = 5\%$ dan $v = 16$, didapat harga-harga

p	2	3	4	5	6	7	8
q	3,00	3,65	4,05	4,33	4,56	4,74	4,90
S _E	7,714649214						
W	23,1439	28,1585	31,2443	33,4044	35,1788	36,5674	37,8018

Tabel 4.11 Hasil Uji SNK untuk interaksi kerikil, lama waktu pengangkutan dan lama waktu perawatan

Perbandingan antar perlakuan	Wilayah (range)	Nilai pembanding	Hasil pembandingan
B ₂ C ₁ D ₂ vs B ₁ C ₁ D ₂	38,23250	23,1439	Nyata
B ₂ C ₁ D ₂ vs B ₁ C ₂ D ₂	39,27250	28,1585	Nyata
B ₂ C ₁ D ₂ vs B ₂ C ₂ D ₂	44,52000	31,2443	Nyata
B ₂ C ₁ D ₂ vs B ₁ C ₂ D ₁	121,12500	33,4044	Nyata
B ₂ C ₁ D ₂ vs B ₂ C ₂ D ₁	129,78750	35,1788	Nyata

$B_2C_1D_2$ vs $B_1C_1D_1$	137,02000	36,5674	Nyata
$B_2C_1D_2$ vs $B_2C_1D_1$	153,74750	37,8018	Nyata
$B_1C_1D_2$ vs $B_1C_2D_2$	1,04000	23,1439	Tidak Nyata
$B_1C_1D_2$ vs $B_2C_2D_2$	6,28750	28,1585	Tidak nyata
$B_1C_1D_2$ vs $B_1C_2D_1$	82,89250	31,2443	Nyata
$B_1C_1D_2$ vs $B_2C_2D_1$	91,55500	33,4044	Nyata
$B_1C_1D_2$ vs $B_1C_1D_1$	98,78750	35,1788	Nyata
$B_1C_1D_2$ vs $B_2C_1D_1$	115,51500	36,5674	Nyata
$B_1C_2D_2$ vs $B_2C_2D_2$	5,24750	23,1439	Tidak nyata
$B_1C_2D_2$ vs $B_1C_2D_1$	81,85250	28,1585	Nyata
$B_1C_2D_2$ vs $B_2C_2D_1$	90,51500	31,2443	Nyata
$B_1C_2D_2$ vs $B_1C_1D_1$	97,74750	33,4044	Nyata
$B_1C_2D_2$ vs $B_2C_1D_1$	114,47500	35,1788	Nyata
$B_2C_2D_2$ vs $B_1C_2D_1$	76,60500	23,1439	Nyata
$B_2C_2D_2$ vs $B_2C_2D_1$	85,26750	28,1585	Nyata
$B_2C_2D_2$ vs $B_1C_1D_1$	92,50000	31,2443	Nyata
$B_2C_2D_2$ vs $B_2C_1D_1$	109,22750	33,4044	Nyata
$B_1C_2D_1$ vs $B_2C_2D_1$	8,66250	23,1439	Tidak nyata
$B_1C_2D_1$ vs $B_1C_1D_1$	15,89500	28,1585	Tidak nyata
$B_1C_2D_1$ vs $B_2C_1D_1$	32,62250	31,2443	Nyata
$B_2C_2D_1$ vs $B_1C_1D_1$	7,23250	23,1439	Tidak nyata
$B_2C_2D_1$ vs $B_2C_1D_1$	23,96000	28,1585	Tidak nyata
$B_1C_1D_1$ vs $B_2C_1D_1$	16,72750	23,1439	Tidak nyata

4.3.5.8 Uji SNK untuk Interaksi Pasir, Kerikil, Lama Waktu Pengangkutan dan Lama Waktu Perawatan

Dari tabel pada lampiran C untuk nilai rata-rata perlakuan, maka setelah disusun menurut langkah 1 diperoleh data sebagai berikut :

Perlakuan	A ₂ B ₁ C ₁ D ₁	A ₂ B ₂ C ₁ D ₁	A ₁ B ₂ C ₁ D ₁	A ₁ B ₂ C ₂ D ₁
Rata-rata	144,5000	157,7950	184,4500	185,2050

Perlakuan	A ₂ B ₁ C ₂ D ₁	A ₂ B ₂ C ₂ D ₁	A ₁ B ₁ C ₂ D ₁	A ₁ B ₂ C ₂ D ₂
Rata-rata	200,8550	204,9600	206,6350	227,5400

Perlakuan	A ₁ B ₁ C ₁ D ₁	A ₁ B ₁ C ₂ D ₂	A ₂ B ₁ C ₁ D ₂	A ₁ B ₁ C ₁ D ₂
Rata-rata	231,2000	260,0700	277,0500	296,2250

Perlakuan	A ₂ B ₂ C ₁ D ₂	A ₂ B ₁ C ₂ D ₂	A ₂ B ₂ C ₂ D ₁₂	A ₁ B ₂ C ₁ D ₂
Rata-rata	305,0900	311,1250	333,1600	344,6500

Standar error untuk tiap perlakuan

$$S_E = \sqrt{\frac{MS_E}{n}} = \sqrt{\frac{238,06325}{2}} = 10,91016155$$

Dari tabel *Studentized Range Statistic* pada lampiran K dengan $\alpha = 5\%$ dan $v = 16$, didapat harga-harga

p	2	3	4	5	6	7	8
q	3,00	3,65	4,05	4,33	4,56	4,74	4,90
S _E	10,91016155						
W	32,7305	39,8221	44,1862	47,2410	49,7503	51,7142	53,4598

9	10	11	12	13	14	15	16
5,03	5,15	5,26	5,35	5,44	5,52	5,59	5,66
10,91016155							
54,878	56,1873	57,3874	58,3694	59,3513	60,2241	60,9878	61,7515

Tabel 4.12 Hasil Uji SNK untuk interaksi pasir, kerikil, lama waktu pengangkutan dan lama waktu perawatan

Perbandingan antar perlakuan	Wilayah (range)	Nilai pembandingan	Hasil pembandingan
$A_1B_2C_1D_2$ vs $A_2B_2C_2D_2$	11,490	32,7305	Tidak nyata
$A_1B_2C_1D_2$ vs $A_2B_1C_2D_2$	33,525	39,8221	Tidak nyata
$A_1B_2C_1D_2$ vs $A_2B_2C_1D_2$	39,560	44,1862	Tidak nyata
$A_1B_2C_1D_2$ vs $A_1B_1C_1D_2$	48,425	47,2410	Nyata
$A_1B_2C_1D_2$ vs $A_2B_1C_1D_2$	67,600	49,7503	Nyata
$A_1B_2C_1D_2$ vs $A_1B_1C_2D_2$	84,580	51,7142	Nyata
$A_1B_2C_1D_2$ vs $A_1B_1C_1D_1$	113,450	53,4598	Nyata
$A_1B_2C_1D_2$ vs $A_1B_2C_2D_2$	117,110	54,8781	Nyata
$A_1B_2C_1D_2$ vs $A_1B_1C_2D_1$	138,015	56,1873	Nyata
$A_1B_2C_1D_2$ vs $A_2B_2C_2D_1$	139,690	57,3874	Nyata
$A_1B_2C_1D_2$ vs $A_2B_1C_2D_1$	143,795	58,3694	Nyata
$A_1B_2C_1D_2$ vs $A_1B_2C_2D_1$	159,4451	59,3513	Nyata
$A_1B_2C_1D_2$ vs $A_1B_2C_1D_1$	160,200	60,2241	Nyata
$A_1B_2C_1D_2$ vs $A_2B_2C_1D_1$	186,855	60,9878	Nyata
$A_1B_2C_1D_2$ vs $A_2B_1C_1D_1$	200,150	61,7515	Nyata
$A_2B_2C_2D_2$ vs $A_2B_1C_2D_2$	22,035	32,7305	Tidak nyata
$A_2B_2C_2D_2$ vs $A_2B_2C_1D_2$	28,070	39,8221	Tidak nyata
$A_2B_2C_2D_2$ vs $A_1B_1C_1D_2$	36,935	44,1862	Tidak nyata
$A_2B_2C_2D_2$ vs $A_2B_1C_1D_2$	56,110	47,2410	Nyata
$A_2B_2C_2D_2$ vs $A_1B_1C_2D_2$	73,090	49,7503	Nyata
$A_2B_2C_2D_2$ vs $A_1B_1C_1D_1$	101,960	51,7142	Nyata
$A_2B_2C_2D_2$ vs $A_1B_2C_2D_2$	105,620	53,4598	Nyata
$A_2B_2C_2D_2$ vs $A_1B_1C_2D_1$	126,525	54,8781	Nyata
$A_2B_2C_2D_2$ vs $A_2B_2C_2D_1$	128,200	56,1873	Nyata
$A_2B_2C_2D_2$ vs $A_2B_1C_2D_1$	132,305	57,3874	Nyata

$A_2B_2C_2D_2$ vs $A_1B_2C_2D_1$	147,955	58,3694	Nyata
$A_2B_2C_2D_2$ vs $A_1B_2C_1D_1$	148,710	59,3513	Nyata
$A_2B_2C_2D_2$ vs $A_2B_2C_1D_1$	175,365	60,2241	Nyata
$A_2B_2C_2D_2$ vs $A_2B_1C_1D_1$	188,660	60,9878	Nyata
$A_2B_1C_2D_2$ vs $A_2B_2C_1D_2$	6,035	32,7305	Tidak nyata
$A_2B_1C_2D_2$ vs $A_1B_1C_1D_2$	14,900	39,8221	Tidak nyata
$A_2B_1C_2D_2$ vs $A_2B_1C_1D_2$	34,075	44,1862	Tidak nyata
$A_2B_1C_2D_2$ vs $A_1B_1C_2D_2$	51,055	47,2410	Nyata
$A_2B_1C_2D_2$ vs $A_1B_1C_1D_1$	79,925	49,7503	Nyata
$A_2B_1C_2D_2$ vs $A_1B_2C_2D_2$	83,585	51,7142	Nyata
$A_2B_1C_2D_2$ vs $A_1B_1C_2D_1$	104,490	53,4598	Nyata
$A_2B_1C_2D_2$ vs $A_2B_2C_2D_1$	106,165	54,8781	Nyata
$A_2B_1C_2D_2$ vs $A_2B_1C_2D_1$	110,270	56,1873	Nyata
$A_2B_1C_2D_2$ vs $A_1B_2C_2D_1$	125,920	57,3874	Nyata
$A_2B_1C_2D_2$ vs $A_1B_2C_1D_1$	126,675	58,3694	Nyata
$A_2B_1C_2D_2$ vs $A_2B_2C_1D_1$	153,33	59,3513	Nyata
$A_2B_1C_2D_2$ vs $A_2B_1C_1D_1$	166,625	60,2241	Nyata
$A_2B_2C_1D_2$ vs $A_1B_1C_1D_2$	8,865	32,7305	Tidak nyata
$A_2B_2C_1D_2$ vs $A_2B_1C_1D_2$	28,040	39,8221	Tidak nyata
$A_2B_2C_1D_2$ vs $A_1B_1C_2D_2$	45,020	44,1862	Nyata
$A_2B_2C_1D_2$ vs $A_1B_1C_1D_1$	73,890	47,2410	Nyata
$A_2B_2C_1D_2$ vs $A_1B_2C_2D_2$	77,550	49,7503	Nyata
$A_2B_2C_1D_2$ vs $A_1B_1C_2D_1$	98,455	51,7142	Nyata
$A_2B_2C_1D_2$ vs $A_2B_2C_2D_1$	100,125	53,4598	Nyata
$A_2B_2C_1D_2$ vs $A_2B_1C_2D_1$	104,235	54,8781	Nyata
$A_2B_2C_1D_2$ vs $A_1B_2C_2D_1$	119,885	56,1873	Nyata
$A_2B_2C_1D_2$ vs $A_1B_2C_1D_1$	120,640	57,3874	Nyata
$A_2B_2C_1D_2$ vs $A_2B_2C_1D_1$	147,295	58,3694	Nyata
$A_2B_2C_1D_2$ vs $A_2B_1C_1D_1$	160,590	59,3513	Nyata

$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_2B_1C_1D_2$	19,175	32,7305	Tidak nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_1B_1C_2D_2$	36,155	39,8221	Tidak nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_1B_1C_1D_1$	65,025	44,1862	Nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_1B_2C_2D_2$	68,685	47,2410	Nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_1B_1C_2D_1$	89,590	49,7503	Nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_2B_2C_2D_1$	91,265	51,7142	Nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_2B_1C_2D_1$	95,370	53,4598	Nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_1B_2C_2D_1$	111,020	54,8781	Nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_1B_2C_1D_1$	111,775	56,1873	Nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_2B_2C_1D_1$	138,430	57,3874	Nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_2B_1C_1D_1$	151,725	58,3694	Nyata
$A_2B_1C_1D_2$ vs $A_1B_1C_2D_2$	16,980	32,7305	Tidak nyata
$A_2B_1C_1D_2$ vs $A_1B_1C_1D_1$	45,850	39,8221	Nyata
$A_2B_1C_1D_2$ vs $A_1B_2C_2D_2$	49,510	44,1862	Nyata
$A_2B_1C_1D_2$ vs $A_1B_1C_2D_1$	70,415	47,2410	Nyata
$A_2B_1C_1D_2$ vs $A_2B_2C_2D_1$	72,090	49,7503	Nyata
$A_2B_1C_1D_2$ vs $A_2B_1C_2D_1$	76,195	51,7142	Nyata
$A_2B_1C_1D_2$ vs $A_1B_2C_2D_1$	91,845	53,4598	Nyata
$A_2B_1C_1D_2$ vs $A_1B_2C_1D_1$	92,600	54,8781	Tidak nyata
$A_2B_1C_1D_2$ vs $A_2B_2C_1D_1$	119,255	56,1873	Nyata
$A_2B_1C_1D_2$ vs $A_2B_1C_1D_1$	132,550	57,3874	Nyata
$A_1B_1C_2D_2$ vs $A_1B_1C_1D_1$	28,870	32,7305	Tidak nyata
$A_1B_1C_2D_2$ vs $A_1B_2C_2D_2$	32,530	39,8221	Tidak nyata
$A_1B_1C_2D_2$ vs $A_1B_1C_2D_1$	53,435	44,1862	Nyata
$A_1B_1C_2D_2$ vs $A_2B_2C_2D_1$	55,110	47,2410	Nyata
$A_1B_1C_2D_2$ vs $A_2B_1C_2D_1$	59,215	49,7503	Nyata
$A_1B_1C_2D_2$ vs $A_1B_2C_2D_1$	74,865	51,7142	Nyata
$A_1B_1C_2D_2$ vs $A_1B_2C_1D_1$	75,620	53,4598	Nyata
$A_1B_1C_2D_2$ vs $A_2B_2C_1D_1$	102,275	54,8781	Nyata

$A_1B_1C_2D_2$ vs $A_2B_1C_1D_1$	115,570	56,1873	Nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_1B_2C_2D_2$	3,660	32,7305	Tidak nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_1B_1C_2D_1$	24,565	39,8221	Tidak nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_2B_2C_2D_1$	26,240	44,1862	Tidak nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_2B_1C_2D_1$	30,345	47,2410	Tidak nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_1B_2C_2D_1$	45,995	49,7503	Tidak nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_1B_2C_1D_1$	46,750	51,7142	Tidak nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_2B_2C_1D_1$	73,405	53,4598	Nyata
$A_1B_1C_1D_2$ vs $A_2B_1C_1D_1$	86,700	54,8781	Nyata
$A_1B_2C_2D_2$ vs $A_1B_1C_2D_1$	20,905	32,7305	Tidak nyata
$A_1B_2C_2D_2$ vs $A_2B_2C_2D_1$	22,580	39,8221	Tidak nyata
$A_1B_2C_2D_2$ vs $A_2B_1C_2D_1$	26,685	44,1862	Tidak nyata
$A_1B_2C_2D_2$ vs $A_1B_2C_2D_1$	42,335	47,2410	Tidak nyata
$A_1B_2C_2D_2$ vs $A_1B_2C_1D_1$	43,090	49,7503	Tidak nyata
$A_1B_2C_2D_2$ vs $A_2B_2C_1D_1$	69,745	51,7142	Nyata
$A_1B_2C_2D_2$ vs $A_2B_1C_1D_1$	83,040	53,4598	Nyata
$A_1B_1C_2D_1$ vs $A_2B_2C_2D_1$	1,675	32,7305	Tidak nyata
$A_1B_1C_2D_1$ vs $A_2B_1C_2D_1$	5,780	39,8221	Tidak nyata
$A_1B_1C_2D_1$ vs $A_1B_2C_2D_1$	21,430	44,1862	Tidak nyata
$A_1B_1C_2D_1$ vs $A_1B_2C_1D_1$	22,185	47,2410	Tidak nyata
$A_1B_1C_2D_1$ vs $A_2B_2C_1D_1$	48,840	49,7503	Tidak nyata
$A_1B_1C_2D_1$ vs $A_2B_1C_1D_1$	62,135	51,7142	Nyata
$A_2B_2C_2D_1$ vs $A_2B_1C_2D_1$	4,105	32,7305	Tidak nyata
$A_2B_2C_2D_1$ vs $A_1B_2C_2D_1$	19,755	39,8221	Tidak nyata
$A_2B_2C_2D_1$ vs $A_1B_2C_1D_1$	20,510	44,1862	Tidak nyata
$A_2B_2C_2D_1$ vs $A_2B_2C_1D_1$	47,165	47,2410	Tidak nyata
$A_2B_2C_2D_1$ vs $A_2B_1C_1D_1$	60,460	49,7503	Nyata
$A_2B_1C_2D_1$ vs $A_1B_2C_2D_1$	15,650	32,7305	Tidak nyata
$A_2B_1C_2D_1$ vs $A_1B_2C_1D_1$	16,405	39,8221	Tidak nyata

$A_2B_1C_2D_1$ vs $A_2B_2C_1D_1$	43,060	44,1862	Tidak nyata
$A_2B_1C_2D_1$ vs $A_2B_1C_1D_1$	56,355	47,2410	Nyata
$A_1B_2C_2D_1$ vs $A_1B_2C_1D_1$	0,755	32,7305	Tidak nyata
$A_1B_2C_2D_1$ vs $A_2B_2C_1D_1$	27,410	39,8221	Tidak nyata
$A_1B_2C_2D_1$ vs $A_2B_1C_1D_1$	40,705	44,1862	Tidak nyata
$A_1B_2C_1D_1$ vs $A_2B_2C_1D_1$	26,655	32,7305	Tidak nyata
$A_1B_2C_1D_1$ vs $A_2B_1C_1D_1$	39,950	39,8221	Nyata
$A_2B_2C_1D_1$ vs $A_2B_1C_1D_1$	13,295	32,7305	Tidak nyata

"Wahai Tuhan kami, berilah kami rahmat dari sisiMu.

*Dan sempurnakanlah bagi kami petunjuk
yang lurus dalam urusan kami ini."*

(QS Al Kahfi : 10)

BAB V

PEMBAHASAN

BAB V

PEMBAHASAN

Berdasarkan data-data yang telah diperoleh serta dari hasil pengolahan data, maka dapat dikemukakan uraian pembahasan sebagai berikut.

5.1 Pengendalian Kualitas

Dari hasil pengamatan kekuatan tekan beton pada Grafik Pengendali \bar{X} dan R untuk peringatan 3-sigma pada gambar 4.1, maka diperoleh data-data sebagai berikut :

1. Tidak ada titik-titik yang keluar dari batas pengendalian 3-sigma.
2. Tidak terdapat giliran naik atau turun paling sedikit tujuh atau delapan titik.
3. Terlihat bahwa penyebaran data kekuatan tekan beton secara random. Ini berarti bahwa penyebaran data tidak membentuk pola tertentu.

Dengan keadaan seperti di atas dapat disimpulkan bahwa proses berada dalam keadaan stabil dan terkendali.

5.2 Analisis Kemampuan Proses

Analisis Kemampuan Proses merupakan suatu ukuran dari kemampuan proses untuk memproduksi produk yang membutuhkan spesifikasi.

Dari hasil pengolahan data pada bab sebelumnya didapat nilai C_p sebesar 0,8164. Karena nilai C_p yang didapat lebih kecil dari 1, maka ini berarti penyebaran proses yang sebenarnya lebih besar dari penyebaran proses yang diijinkan. Akibatnya akan terdapat hasil yang tidak sesuai dengan batas spesifikasi

yang diijinkan. Hal ini diperkuat dengan nilai bagian tak sesuai proses (\hat{p}) sebesar 0,71 % yang artinya terdapat sekitar 0,71 % kekuatan tekan beton yang tidak memenuhi spesifikasi.

Namun berdasarkan spesifikasi beton menurut aturan PBI 1971, diketahui bahwa kualitas beton dan mutu pelaksanaan dapat dikatakan memenuhi syarat.

5.3 Analisis Desain Eksperimen

Berdasarkan hasil pengolahan data, maka dapat dikemukakan uraian analisis terhadap hipotesis yang telah dibuktikan, yaitu sebagai berikut :

1. Faktor pasir

Hasil pengujian hipotesis menyatakan bahwa jenis pasir yang dipergunakan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Hal ini berarti kedua jenis pasir yang dipergunakan tidak berbeda secara nyata.

2. Faktor kerikil

Hasil pengujian hipotesis menyatakan bahwa jenis kerikil yang dipergunakan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Hal ini berarti kedua jenis kerikil yang dipergunakan tidak berbeda secara nyata.

3. Faktor lama waktu pengangkutan

Hasil pengujian hipotesis menyatakan bahwa lama waktu pengangkutan yang ada tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas

kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Hal ini berarti lama waktu pengangkutan tidak berbeda secara nyata.

4. Faktor lama waktu perawatan

Hasil pengujian hipotesis menyatakan bahwa waktu perawatan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Dengan Uji SNK diperoleh bahwa lama waktu perawatan 7 dan 28 hari akan mempunyai pengaruh yang cukup berarti, karena kekuatan tekan beton yang dihasilkan berbeda secara nyata.

5. Interaksi faktor pasir dan kerikil

Hasil pengujian hipotesis menyatakan bahwa interaksi pasir dan kerikil mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Namun dengan Uji SNK diperoleh bahwa semua kombinasi perlakuan menghasilkan kekuatan tekan beton yang tidak berbeda secara nyata.

6. Interaksi faktor pasir dan lama waktu pengangkutan

Hasil pengujian hipotesis menyatakan bahwa interaksi pasir dan lama waktu pengangkutan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Dengan Uji SNK diperoleh bahwa interaksi antara pasir dan lama waktu pengangkutan menghasilkan kekuatan tekan beton yang berbeda secara nyata.

Memang ada kombinasi perlakuan yang jika dibandingkan dengan kombinasi perlakuan yang lainnya menghasilkan kekuatan tekan beton yang tidak berbeda secara nyata, yaitu antara A_1C_2 dengan A_2C_1 dan antara A_1C_1

dengan A_2C_2 . Namun menghasilkan kekuatan tekan beton yang berbeda secara nyata ketika dibandingkan dengan kombinasi perlakuan yang lainnya, yaitu antara A_1C_2 dengan A_1C_1 , A_1C_2 dengan A_2C_2 , A_2C_1 dengan A_1C_1 dan A_2C_1 dengan A_2C_2 .

7. Interaksi faktor pasir dan lama waktu perawatan

Hasil pengujian hipotesis menyatakan bahwa interaksi antara pasir dan lama waktu perawatan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Dengan Uji SNK diperoleh bahwa semua kombinasi perlakuan menghasilkan kekuatan tekan beton yang berbeda secara nyata.

8. Interaksi faktor kerikil dan lama waktu pengangkutan

Hasil pengujian hipotesis menyatakan bahwa interaksi antara kerikil dan lama waktu pengangkutan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Hal ini berarti bahwa interaksi antara kerikil dan lama waktu pengangkutan tidak berbeda secara nyata terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan

9. Interaksi faktor kerikil dan lama waktu perawatan

Hasil pengujian hipotesis menyatakan bahwa interaksi kerikil dan lama waktu perawatan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Dengan Uji SNK diperoleh bahwa interaksi antara kerikil dan lama waktu perawatan menghasilkan kekuatan tekan beton yang berbeda secara nyata.

Memang ada kombinasi perlakuan yang jika dibandingkan dengan kombinasi perlakuan yang lainnya menghasilkan kekuatan tekan beton yang tidak berbeda secara nyata, yaitu antara B_2D_1 dengan B_1D_1 . Namun akan menghasilkan kekuatan tekan beton yang berbeda secara nyata ketika dibandingkan dengan kombinasi perlakuan yang lain.

10. Interaksi faktor lama waktu pengangkutan dan lama waktu perawatan

Hasil pengujian hipotesis menyatakan bahwa interaksi antara lama waktu pengangkutan dan lama waktu perawatan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Dengan Uji SNK diperoleh bahwa semua kombinasi perlakuan menghasilkan kekuatan tekan beton yang berbeda secara nyata.

11. Interaksi faktor pasir, kerikil dan lama waktu pengangkutan

Hasil pengujian hipotesis menyatakan bahwa interaksi antara pasir, kerikil dan lama waktu pengangkutan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Hal ini berarti bahwa interaksi antara pasir, kerikil dan lama waktu pengangkutan tidak berbeda secara nyata terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan.

12. Interaksi faktor pasir, kerikil dan lama waktu perawatan

Hasil pengujian hipotesis menyatakan bahwa interaksi antara pasir, kerikil dan lama waktu perawatan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Hal ini berarti bahwa interaksi antara pasir, kerikil dan lama waktu perawatan tidak berbeda secara nyata terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan.

13. Interaksi faktor pasir, lama waktu pengangkutan dan lama waktu perawatan

Hasil pengujian hipotesis menyatakan bahwa interaksi antara pasir, lama waktu pengangkutan dan lama waktu perawatan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Hal ini berarti bahwa interaksi antara pasir, lama waktu pengangkutan dan lama waktu perawatan tidak berbeda secara nyata terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan.

14. Interaksi faktor kerikil, lama waktu pengangkutan dan lama waktu perawatan

Hasil pengujian hipotesis menyatakan bahwa interaksi kerikil, lama waktu pengangkutan dan lama waktu perawatan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Dengan Uji SNK diperoleh bahwa interaksi antara kerikil, lama waktu pengangkutan dan lama waktu perawatan menghasilkan kekuatan tekan beton yang berbeda secara nyata.

Memang ada kombinasi perlakuan yang jika dibandingkan dengan kombinasi perlakuan yang lainnya menghasilkan kekuatan tekan beton yang tidak berbeda secara nyata. Yaitu untuk kombinasi perlakuan $B_2C_1D_1$ dengan $B_2C_2D_1$ dan $B_1C_1D_1$, $B_1C_1D_1$ dengan $B_1C_2D_1$ dan $B_2C_2D_1$, $B_2C_2D_1$ dengan $B_1C_2D_1$, $B_2C_2D_2$ dengan $B_1C_1D_2$ dan $B_1C_2D_2$ serta $B_1C_2D_2$ dengan $B_1C_1D_2$.

Namun kombinasi perlakuan $B_2C_1D_1$, $B_1C_1D_1$, $B_2C_2D_1$, $B_2C_2D_2$ dan $B_1C_2D_2$ menghasilkan kekuatan tekan beton yang berbeda secara nyata ketika dibandingkan dengan kombinasi perlakuan selain yang di atas.

15. Interaksi faktor pasir, kerikil, lama waktu pengangkutan dan lama waktu perawatan

Hasil pengujian hipotesis menyatakan bahwa interaksi pasir, kerikil, lama waktu pengangkutan dan lama waktu perawatan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Dengan Uji SNK diperoleh bahwa interaksi antara pasir, kerikil, lama waktu pengangkutan dan lama waktu perawatan menghasilkan kekuatan tekan beton yang berbeda secara nyata.

Kombinasi perlakuan yang menghasilkan kekuatan tekan beton terbesar terjadi pada $A_1B_2C_1D_2$ (pasir Lumajang, kerikil kali, lama waktu pengangkutan selama 30 menit dan lama waktu perawatan selama 28 hari).

*Ya Tuhanku, ampunilah daku, ayah ibuku,
mereka yang masuk ke rumahku dengan iman
dan semua orang yang beriman.
Dan janganlah Engkau beri orang-orang
yang dzalim itu kecuali kebinasaan."
(QS Nuh: 28)*

BAB VI

KESIMPULAN

BAB VI

KESIMPULAN

1. Berdasarkan penyebaran data kekuatan tekan beton pada Grafik Pengendali \bar{X} dan R, serta ditinjau dari spesifikasi berdasarkan Peraturan Beton Indonesia 1971, maka kekuatan tekan beton memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan dan proses dalam keadaan terkendali dan stabil.
2. Secara individu, hanya faktor lama waktu perawatan yang mempunyai pengaruh terhadap kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Namun apabila terjadi interaksi antar faktor, maka semua faktor mempunyai pengaruh terhadap kekuatan tekan beton yang dihasilkan.

*"Ya Tuhan, berilah daku hikmah dan
masukkanlah ke dalam orang-orang yang shalih.
Dan jadikanlah daku buah bibir yang baik
bagi mereka yang datang kemudian
Dan jadikanlah daku termasuk
yang memasuki syurga yang penuh kenikmatan."
(QS Asy syuara' : 83-85)*

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

1. Bartle, R. G., Sherbert, D. R., (1984), *Introduction to Real Analysis*, John Wiley & Sons Inc., New York.
2. Box, G. E. P., Hunter, W. G., Hunter, J. S., (1978), *Statistics for Experiments*, John Wiley & sons Inc., New York.
3. Daniel, W. W., (1989), *Statistika Nonparametrik Terapan*, PT Gramedia, Jakarta.
4. Dixon, W. J., Massey, F. J., (1997), *Pengantar Analisis Statistik*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
5. Grant, E. L., Leavenworth, R. S., (1989), *Pengendalian Mutu Statistik*, Erlangga, Jakarta.
6. I Gede Pande Bonaparta, (1994), *Analisa Pengaruh Material terhadap Kekuatan Tekan Beton dengan Desain Eksperimen Faktorial di PT Varia Usaha Beton Sidoarjo*, Tugas Akhir, ITS, Surabaya.
7. Lukita Oktafrina, (1991), *Penentuan Faktor yang Berpengaruh terhadap Performans Kualitas Ubin Teraso melalui Eksperimen Faktorial dengan Metode Yates dan Teknik Taguchi*, Tugas Akhir, ITS, Surabaya.
8. Montgomery, D. C., (1990), *Pengantar Pengendalian Kualitas Statistik*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
9. Murdock, L. J., Brook, K. M., (1991), *Bahan dan Praktek Beton*, Erlangga, Jakarta.
10. Sudjana, Prof. DR., (1989), *Desain dan Analisis Eksperimen*, Tarsito, Bandung.

11. Sudjana, Prof. DR., (1996), *Teknik Analisis Regresi dan Korelasi*, Tarsito, Bandung.
12. Sugandi, E., Sugiarto, (1994), *Rancangan Percobaan Teori dan Aplikasi*, Andi Offset, Yogyakarta.
13. Walpole, R. E., Myers, R. H., (1986), *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*, Penerbit ITB, Bandung.

*"Ya Tuhan, ampunilah kami dan saudara
yang telah mendahului dengan keimanan.*

*Dan janganlah Engkau biarkan kedengkian di
Dalam hati kami terhadap mereka yang beriman.*

*Ya Tuhan kami, sesungguhnya Engkau Maha
Penyantun lagi Maha Penyayang."*

(QS Al Hasyr : 10)

LAMPIRAN

Lampiran A1**Data Pengendalian Kualitas : Data hasil pengukuran kekuatan tekan beton**

Subgrup	Pengamatan ke				\bar{X}	R
	1	2	3	4		
1	333,0	306,0	357,0	364,0	340,00	58,0
2	259,0	265,0	265,0	308,0	274,25	49,0
3	347,0	275,0	325,0	315,0	315,50	72,0
4	310,0	302,0	358,0	347,0	329,25	56,0
5	364,0	355,0	393,0	335,0	361,75	58,0
6	381,0	327,0	387,0	367,0	365,50	60,0
7	364,0	313,0	307,0	347,0	332,75	57,0
8	306,0	303,0	358,0	353,0	330,00	55,0
9	370,0	318,0	275,0	318,0	320,25	95,0
10	303,0	351,0	289,0	303,0	311,50	62,0
11	289,0	347,0	350,0	335,0	330,25	61,0
12	284,3	321,4	301,4	264,3	292,85	57,1
13	318,6	288,6	207,1	272,9	271,80	111,5
14	268,6	305,7	284,3	330,0	297,15	61,4
15	338,6	355,7	288,6	251,4	308,58	104,3
16	314,3	255,7	264,3	251,4	271,43	62,9
17	288,6	301,4	288,6	310,0	297,15	21,4
18	325,7	227,1	272,9	240,0	266,43	98,6
19	202,9	300,0	342,9	318,6	291,10	140,0
20	247,1	347,1	347,1	281,4	305,68	100,0
					$\bar{\bar{X}} = 310,66$	$\bar{\bar{R}} = 72,01$

Lampiran A2

Data Kekuatan Tekan Beton, Rata-rata bergerak dan Range bergerak

No	A	B	C
1	333,0		
2	306,0		
3	357,0		
4	364,0	340,0	58,0
5	259,0	321,5	105,0
6	265,0	311,25	105,0
7	265,0	288,25	105,0
8	308,0	274,25	49,0
9	347,0	296,25	82,0
10	275,0	298,75	82,0
11	324,0	313,5	72,0
12	315,0	315,25	72,0
13	310,0	306,0	49,0
14	302,0	312,75	22,0
15	358,0	321,25	56,0
16	347,0	329,25	56,0
17	364,0	342,75	62,0
18	355,0	356,0	17,0
19	393,0	364,75	46,0
20	335,0	361,75	58,0

A = hasil pemeriksaan kekuatan tekan beton (benda uji)

B = rata-rata 4 hasil pemeriksaan benda uji berturut-turut

C = range diantara 4 hasil pemeriksaan benda uji berturut-turut

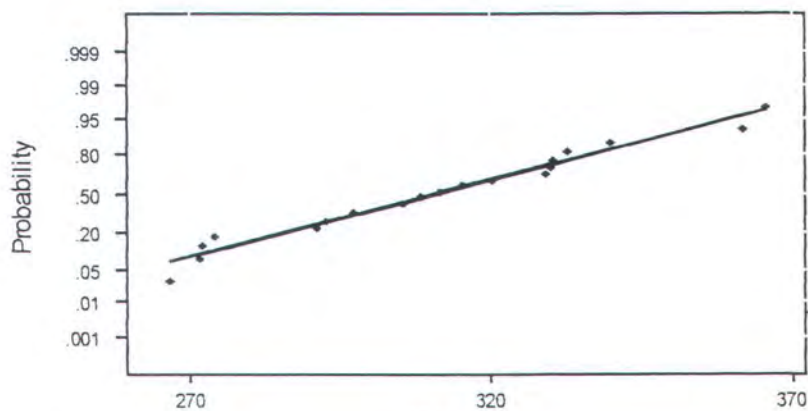
Lampiran B

Hasil Uji Kolmogorov-Smirnov untuk Distribusi Normal

Perhitungan nilai Dn :

x_i	Frek (f_i)	Frek kum	S (x)	z	$F_0(x)$	$ S(x) - F_0(x) $
266,43	1	1	0,05	-1,54	0,0618	0,0118
271,43	1	2	0,10	-1,37	0,0853	0,0147
271,80	1	3	0,15	-1,36	0,0869	0,0631
274,25	1	4	0,20	-1,27	0,1020	Dn = 0,0980
291,10	1	5	0,25	-0,68	0,2483	0,0017
292,85	1	6	0,30	-0,62	0,2676	0,0324
297,15	2	8	0,40	-0,47	0,3192	0,0808
305,68	1	9	0,45	-0,17	0,4325	0,0175
308,58	1	10	0,50	-0,07	0,4721	0,0279
311,50	1	11	0,55	0,03	0,5120	0,0380
315,50	1	12	0,60	0,17	0,5675	0,0325
320,25	1	13	0,65	0,33	0,6275	0,0225
329,25	1	14	0,70	0,65	0,7422	0,0422
330,00	1	15	0,75	0,67	0,7486	0,0014
330,25	1	16	0,80	0,68	0,7517	0,0483
332,75	1	17	0,85	0,77	0,7794	0,0706
340,00	1	18	0,90	1,02	0,8461	0,0539
361,75	1	19	0,95	1,78	0,9625	0,0125
365,50	1	20	1,00	1,91	0,9719	0,0281

Uji Kolmogorov-Smirnov untuk Distribusi Normal



Average: 310.657
StDev: 28.6649
N: 20

Kolmogorov-Smirnov Normality Test
D+: 0.098 D-: 0.092 D: 0.098
Approximate P-Value > 0.15

Lampiran C Data Desain Eksperimen : Tabel Nilai Rata-rata Perlakuan

Faktor Pasir

Pasir	N	Jumlah	Nilai Rata-rata
[A1] Lumajang	16	3871,95	241,9969
[A2] Kali	16	3869,07	241,8169

Faktor Kerikil

Kerikil	N	Jumlah	Nilai Rata-rata
[B1] UPB	16	3855,32	240,9575
[B2] Kali	16	3885,70	242,8663

Faktor Lama Waktu Pengangkutan

Lama Pengangkutan	N	Jumlah	Nilai Rata-rata
[C1] 30 menit	16	3881,92	242,6200
[C2] 40 menit	16	3859,10	241,1938

Faktor Lama Waktu Perawatan

Lama Perawatan	N	Jumlah	Nilai Rata-rata
[D1] 7 hari	16	3031,20	189,4500
[D2] 28 hari	16	4709,82	294,3638

Interaksi Faktor Pasir dan Kerikil

Pasir	Kerikil	N	Jumlah	Nilai Rata-rata
A1	B1	8	1988,26	248,5325
A2		8	1867,06	233,3825
A1	B2	8	1883,69	235,4613
A2		8	2002,01	250,2513

Interaksi Faktor Pasir dan Lama Waktu Pengangkutan

Pasir	Lama Angkut	N	Jumlah	Nilai Rata-rata
A1	C1	8	2113,05	264,1313
A2		8	1768,87	221,1088
A1	C2	8	1758,90	219,8625
A2		8	2100,20	262,5250

Interaksi Faktor Pasir dan Lama Waktu Perawatan

Pasir	Lama Rawat	N	Jumlah	Nilai Rata-rata
A1	D1	8	1614,98	201,8725
A2		8	1416,22	177,0275
A1	D2	8	2256,97	282,1213
A2		8	2452,85	306,6063

Interaksi Faktor Kerikil dan Lama Waktu Pengangkutan

Kerikil	Lama Angkut	N	Jumlah	Nilai Rata-rata
B1	C1	8	1897,95	237,2438
B2		8	1983,97	247,9963
B1	C2	8	1957,37	244,6713
B2		8	1901,73	237,7163

Interaksi Faktor Kerikil dan Lama Waktu Perawatan

Kerikil	Lama Rawat	N	Jumlah	Nilai Rata-rata
B1	D1	8	1566,38	195,7975
B2		8	1464,82	183,1025
B1	D2	8	2288,94	286,1175
B2		8	2420,88	302,6100

Interaksi Faktor Lama Waktu Pengangkutan dan Perawatan

Lama Angkut	Lama Rawat	N	Jumlah	Nilai Rata-rata
C1	D1	8	1435,89	179,4863
C2		8	1595,31	199,4138
C1	D2	8	2446,03	305,7538
C2		8	2263,79	282,9738

Interaksi Faktor Pasir, Kerikil dan Lama Waktu Pengangkutan

Pasir	Kerikil	Lama Angkut	N	Jumlah	Nilai Rata-rata
A1	B1	C1	4	1054,85	263,7125
A2			4	843,10	210,7750
A1	B2		4	1058,20	264,5500
A2			4	925,77	231,4425
A1	B1	C2	4	933,41	233,3525
A2			4	1023,96	255,9900
A1	B2		4	825,49	206,3725
A2			4	1076,24	269,0600

Interaksi Faktor Pasir, Kerikil dan Lama Waktu Perawatan

Pasir	Kerikil	Lama Rawat	N	Jumlah	Nilai Rata-rata
A1	B1	D1	4	875,67	218,9175
A2			4	690,71	172,6775
A1	B2		4	739,31	184,8275
A2			4	725,51	181,3775
A1	B1	D2	4	1112,59	278,1475
A2			4	1176,35	294,0875
A1	B2		4	1144,38	286,0950
A2			4	1276,50	319,1250

Interaksi Faktor Pasir, Lama Waktu Pengangkutan dan Perawatan

Pasir	Lama Angkut	Lama Rawat	N	Jumlah	Nilai Rata-rata
A1	C1	D1	4	831,30	207,8250
A2			4	604,59	151,1475
A1	C2		4	783,68	195,9200
A2			4	811,63	202,9075
A1	C1	D2	4	1281,75	320,4375
A2			4	1164,28	291,0700
A1	C2		4	975,22	243,8050
A2			4	1288,57	322,1425

Interaksi Faktor Kerikil, Lama Waktu Pengangkutan dan Perawatan

Kerikil	Lama Angkut	Lama Rawat	N	Jumlah	Nilai Rata-rata
B1	C1	D1	4	751,40	187,8500
B2			4	684,49	171,1225
B1	C2		4	814,98	203,7450
B2			4	780,83	195,0825
B1	C1	D2	4	1146,55	286,6375
B2			4	1299,48	324,8700
B1	C2		4	1142,64	285,5975
B2			4	1121,40	280,3500

Interaksi Faktor Pasir, Kerikil, Lama Waktu Pengangkutan dan Perawatan

Pasir	Kerikil	Lama Angkut	Lama Rawat	N	Jumlah	Nilai Rata-rata	
A1	B1	C1	D1	2	462,40	231,2000	
A2				2	289,00	144,5000	
A1	B2			2	368,90	184,4500	
A2				2	315,59	157,7950	
A1	B1			C2	2	413,27	206,6350
A2					2	401,71	200,8550
A1	B2				2	370,41	185,2050
A2					2	409,92	204,9600
A1	B1	C1	D2		2	592,45	296,2250
A2					2	554,10	277,0500
A1	B2				2	689,30	344,6500
A2					2	610,18	305,0900
A1	B1			C2	2	520,14	260,0700
A2					2	622,25	311,1250
A1	B2				2	455,08	227,5400
A2					2	666,32	333,1600

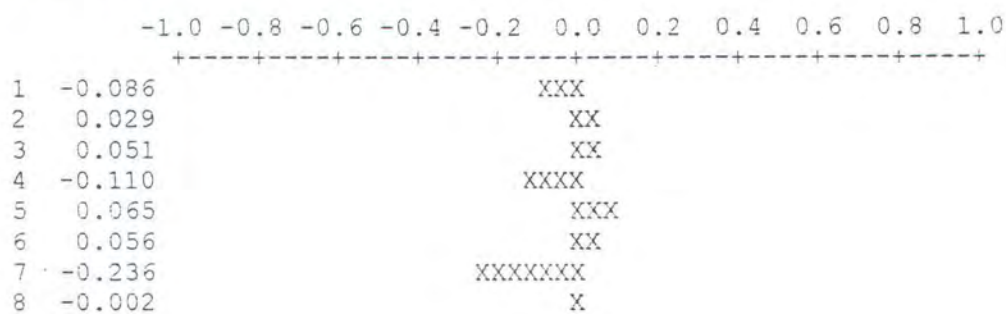
Lampiran D

Data Display

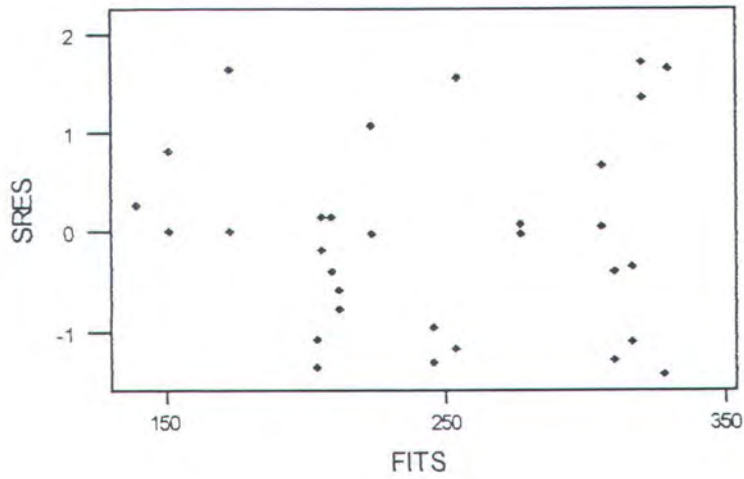
Row	Y	FITS	RESI	SRES
1	289.00	296.225	-7.225	-0.66223
2	151.28	157.795	-6.515	-0.59715
3	144.50	144.500	0.000	0.00000
4	299.14	305.090	-5.950	-0.54536
5	224.66	227.540	-2.880	-0.26397
6	239.87	231.200	8.670	0.79467
7	311.04	305.090	5.950	0.54536
8	286.05	260.070	20.980	1.94127
9	202.30	200.855	1.445	0.13245
10	202.30	206.635	-4.335	-0.39734
11	347.50	344.650	2.850	0.26122
12	186.70	184.450	2.250	0.20623
13	305.17	333.160	-22.990	-1.96550
14	230.42	227.540	2.880	0.26397
15	210.97	206.635	4.335	0.39734
16	277.77	277.050	0.720	0.06599
17	234.09	260.070	-20.980	-1.94127
18	144.50	144.500	0.000	0.00000
19	202.31	204.960	-2.650	-0.24289
20	361.15	333.160	22.990	1.96550
21	222.53	231.200	-8.670	-0.79467
22	172.24	185.205	-12.965	-1.18834
23	306.34	311.125	-4.785	-0.43858
24	164.31	157.795	6.515	0.59715
25	276.33	277.050	-0.720	-0.06599
26	198.17	185.205	12.965	1.18834
27	303.45	296.225	7.225	0.66223
28	315.91	311.125	4.785	0.43858
29	341.80	344.650	-2.850	-0.26122
30	207.61	204.960	2.650	0.24289
31	199.41	200.855	-1.445	-0.13245
32	182.20	184.450	-2.250	-0.20623

Plot Residual Independent

ACF of RESI

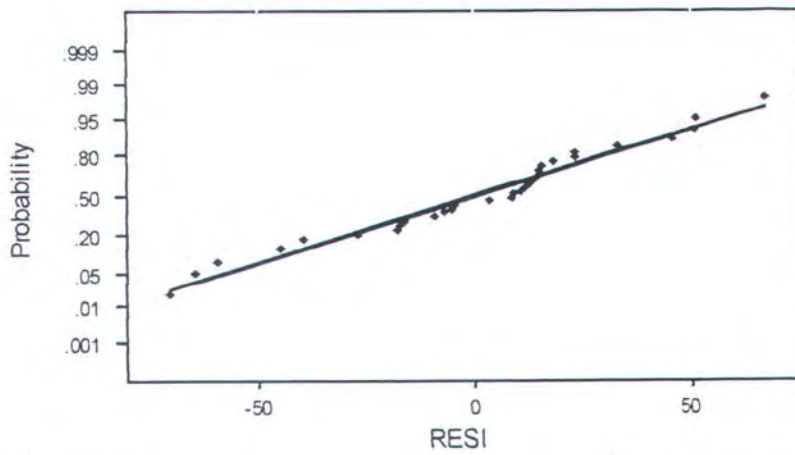


Plot Residual Identik



Plot Residual Distribusi Normal

Normal Probability Plot



Average: 0.0000000
StDev: 33.8221
N: 32

Kolmogorov-Smirnov Normality Test
D+: 0.089 D-: 0.129 D: 0.129
Approximate P-Value > 0.15

Lampiran E

Tabel Tanda Koefisien Efek untuk Desain Eksperimen Faktorial 2^4

Komb	Total	A	B	AB	C	AC	BC	ABC	D	AD	BD	ABD	CD	ACD	BCD	ABCD
(1)	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+
a	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-
b	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-
ab	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
c	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-
ac	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+
bc	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+
abc	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
d	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-
ad	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+
bd	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+
abd	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-
cd	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+
acd	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
bcd	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
abcd	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Lampiran F

Tabel Kuantil Uji Kolmogorov-Smirnov

<i>One-Sided Test</i>													
<i>P =</i>	.90	.95	.975	.99	.995	<i>p =</i>	.90	.95	.975	.99	.995		
<i>Two-Sided Test</i>													
<i>P =</i>	.80	.90	.95	.98	.99	<i>p =</i>	.80	.90	.95	.98	.99		
<i>n =</i>	1	.900	.950	.975	.990	.995	<i>n =</i>	21	.226	.259	.287	.321	.344
	2	.684	.776	.842	.900	.929		22	.221	.253	.281	.314	.337
	3	.565	.636	.708	.785	.829		23	.216	.247	.275	.307	.330
	4	.493	.565	.624	.689	.734		24	.212	.242	.269	.301	.323
	5	.447	.509	.563	.627	.669		25	.208	.238	.264	.295	.317
	6	.410	.468	.519	.577	.617		26	.204	.233	.259	.290	.311
	7	.381	.436	.483	.538	.576		27	.200	.229	.254	.284	.305
	8	.358	.410	.454	.507	.542		28	.197	.225	.250	.279	.300
	9	.339	.387	.430	.480	.513		29	.193	.221	.246	.275	.295
	10	.323	.369	.409	.457	.489		30	.190	.218	.242	.270	.290
	11	.308	.352	.391	.437	.468		31	.187	.214	.238	.266	.285
	12	.296	.338	.375	.419	.449		32	.184	.211	.234	.262	.281
	13	.285	.325	.381	.404	.432		33	.182	.208	.231	.258	.277
	14	.275	.314	.349	.390	.418		34	.179	.205	.227	.254	.273
	15	.266	.304	.338	.377	.404		35	.177	.202	.224	.251	.269
	16	.258	.295	.327	.366	.392		36	.174	.199	.221	.247	.265
	17	.250	.286	.318	.355	.381		37	.172	.196	.218	.244	.262
	18	.244	.279	.309	.346	.371		38	.170	.194	.215	.241	.258
	19	.237	.271	.301	.337	.361		39	.168	.191	.213	.238	.255
	20	.232	.265	.294	.329	.352		40	.165	.189	.210	.235	.252
									1.07	1.22	1.36	1.52	1.63
						Approximation for $n > 40$			$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.52}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

Lampiran G

Tabel Faktor-faktor untuk Penetapan Batas Kendali 3-sigma dari R untuk grafik pengendali \bar{X} dan R

Jumlah pengamatan dalam subgrup n	Faktor untuk bagan \bar{X} A_2	Faktor untuk bagan R	
		Batas kendali bawah D_3	Batas kendali atas D_4
2	1.880	0	3.27
3	1.023	0	2.57
4	0.730	0	2.28
5	0.580	0	2.11
6	0.483	0	2.00
7	0.420	0.08	1.92
8	0.373	0.14	1.86
9	0.340	0.18	1.82
10	0.308	0.22	1.78
11	0.290	0.26	1.74
12	0.270	0.28	1.72
13	0.250	0.31	1.69
14	0.240	0.33	1.67
15	0.223	0.35	1.65
16	0.212	0.36	1.64
17	0.203	0.38	1.62
18	0.194	0.39	1.61
19	0.190	0.40	1.60
20	0.180	0.41	1.59

Lampiran H

Tabel Faktor-faktor untuk Pendugaan σ' dari \bar{R} atau $\bar{\sigma}$

Jumlah pengamatan dalam subgrup	Faktor untuk dugaan dari \bar{R}	Faktor untuk dugaan dari $\bar{\sigma}$
n	$d_2 = \bar{R}/\sigma'$	$c_2 = \bar{\sigma}/\sigma'$
2	1.128	0.5842
3	1.693	0.7236
4	2.058	0.7979
5	2.328	0.8407
6	2.534	0.8686
7	2.704	0.8882
8	2.847	0.9027
9	2.970	0.9139
10	3.073	0.9227
11	3.173	0.9300
12	3.258	0.9359
13	3.336	0.9410
14	3.407	0.9453
15	3.472	0.9490
16	3.532	0.9523
17	3.588	0.9551
18	3.640	0.9578
19	3.689	0.9599
20	3.735	0.9619
21	3.778	0.9638
22	3.819	0.9655
23	3.858	0.9670
24	3.895	0.9684
25	3.931	0.9696
30	4.084	0.9743
35	4.213	0.9784
40	4.322	0.9811
45	4.415	0.9832
50	4.498	0.9849
55	4.572	0.9863
60	4.630	0.9874
65	4.699	0.9884
70	4.755	0.9892
75	4.805	0.9900
80	4.854	0.9906
85	4.893	0.9912
90	4.939	0.9916
95	4.978	0.9921
100	5.015	0.9925

Lampiran I

Tabel Distribusi Normal

Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
-3.5	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
-3.4	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0002
-3.3	.0005	.0005	.0005	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0003
-3.2	.0007	.0007	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0005	.0005	.0005
-3.1	.0010	.0009	.0009	.0009	.0008	.0008	.0008	.0008	.0007	.0007
-3.0	.0013	.0013	.0013	.0012	.0012	.0011	.0011	.0011	.0010	.0010
-2.9	.0019	.0018	.0018	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
-2.8	.0026	.0025	.0024	.0023	.0023	.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
-2.7	.0035	.0034	.0033	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
-2.6	.0047	.0045	.0044	.0043	.0043	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
-2.5	.0062	.0060	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
-2.4	.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
-2.3	.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
-2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
-2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
-2.0	.0223	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
-1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
-1.8	.0359	.0351	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
-1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
-1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
-1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
-1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
-1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
-1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
-1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
-1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
-0.9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
-0.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
-0.7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2297	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
-0.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
-0.5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
-0.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
-0.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
-0.2	.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
-0.1	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
-0.0	.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4641

Tabel Distribusi Normal (lanjutan)

Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.770	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998
3.5	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998	.9998

DERAJAT KEBEBASAN UNTUK PEMBILANG

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	249	250	251	252	253	254
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.37
6	5.99	5.14	4.78	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

DERAJAT KEBEBASAN UNTUK PENYEBUT

DISTRIBUSI F, TITIK DI ATAS 5 PERSEN ($F_{0,95}$)

Harus dilakukan interpolasi dengan menggunakan kebalikan derajat kebebasan.
 Dengan izin Prof. E.S. Pearson dari M. Merrington, C.M. Thompson, "Tables of percentage points of the inverted beta (F) distribution". *Biometrika*, vol 33 (1943), hal. 73.

DERAJAT KEBEBASAN UNTUK PEMBILANG

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	4,052	5,000	5,403	5,625	5,764	5,859	5,928	5,982	6,023	6,056	6,106	6,157	6,209	6,235	6,261	6,287	6,313	6,330	6,366
2	98.5	99.0	99.2	99.2	99.3	99.3	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5
3	34.1	30.8	29.5	28.7	28.2	27.9	27.7	27.5	27.3	27.2	27.1	26.9	26.7	26.6	26.5	26.4	26.3	26.2	26.1
4	21.2	18.0	16.7	16.0	15.5	15.2	15.0	14.8	14.7	14.5	14.4	14.2	14.0	13.9	13.8	13.7	13.7	13.6	13.5
5	16.3	13.3	12.1	11.4	11.0	10.7	10.5	10.3	10.2	10.1	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29	9.20	9.11	9.02
6	13.7	10.9	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97	6.88
7	12.2	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74	5.65
8	11.3	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12	5.03	4.95	4.86
9	10.6	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.28	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40	4.31
10	10.0	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4.00	3.91
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86	3.78	3.69	3.60
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62	3.54	3.45	3.36
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25	3.17
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.70	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.80	3.66	3.51	3.43	3.35	3.27	3.18	3.09	3.00
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96	2.87
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02	2.93	2.84	2.75
17	8.40	6.11	5.19	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92	2.83	2.75	2.65
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.26	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84	2.75	2.66	2.57
19	8.19	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76	2.67	2.58	2.49
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.69	2.61	2.52	2.42
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64	2.55	2.46	2.36
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58	2.50	2.40	2.31
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.07	2.93	2.78	2.70	2.62	2.54	2.45	2.35	2.26
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.49	2.40	2.31	2.21
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.86	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	2.99	2.85	2.70	2.62	2.53	2.45	2.36	2.27	2.17
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.84	2.70	2.55	2.47	2.39	2.30	2.21	2.11	2.01
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80	2.66	2.52	2.37	2.29	2.20	2.11	2.02	1.92	1.80
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.50	2.35	2.20	2.12	2.03	1.94	1.84	1.73	1.60
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56	2.47	2.34	2.19	2.03	1.95	1.86	1.76	1.66	1.53	1.38
∞	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.18	2.04	1.88	1.79	1.70	1.59	1.47	1.32	1.00

DERAJAT KEBEBASAN UNTUK PENYEBUT

DISTRIBUSI F, TITIK DI ATAS 1 PERSEN ($F_{0,99}$)

Harus dibentuk interpolasi dengan menggunakan kebalikan derajat kebebasan.
 Dengan ijin Prof. E.S. Pearson dari M. Merrington, C.M. Thompson, "Tables of percentage points of the inverted beta (F) distribution," *Biometrika*, vol. 33 (1943), hal. 73.

Lampiran K

Tabel Studentized Range Statistik

DB galat	α	p = jumlah perlakuan									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	.05	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	6.99	7.17
	.01	5.70	6.97	7.80	8.42	8.91	9.32	9.67	9.97	10.24	10.48
6	.05	3.46	4.34	4.90	5.31	5.63	5.89	6.12	6.32	6.49	6.65
	.01	5.24	6.33	7.03	7.56	7.97	8.32	8.61	8.87	9.10	9.30
7	.05	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16	6.30
	.01	4.95	5.92	6.54	7.01	7.37	7.68	7.94	8.17	8.37	8.55
8	.05	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	6.05
	.01	4.74	5.63	6.20	6.63	6.96	7.24	7.47	7.68	7.87	8.03
9	.05	3.20	3.95	4.42	4.76	5.02	5.24	5.43	5.60	5.74	5.87
	.01	4.60	5.43	5.96	6.35	6.66	6.91	7.13	7.32	7.49	7.65
10	.05	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60	5.72
	.01	4.48	5.27	5.77	6.14	6.43	6.67	6.87	7.05	7.21	7.36
11	.05	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49	5.61
	.01	4.39	5.14	5.62	5.97	6.25	6.48	6.67	6.84	6.99	7.13
12	.05	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.40	5.51
	.01	4.32	5.04	5.50	5.84	6.10	6.32	6.51	6.67	6.81	6.94
13	.05	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32	5.43
	.01	4.26	4.95	5.40	5.73	5.98	6.19	6.37	6.53	6.67	6.79
14	.05	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25	5.36
	.01	4.21	4.89	5.32	5.63	5.88	6.08	6.26	6.41	6.54	6.66
15	.05	3.01	3.67	4.08	4.37	4.60	4.78	4.94	5.08	5.20	5.31
	.01	4.17	4.83	5.25	5.56	5.80	5.99	6.16	6.31	6.44	6.55
16	.05	3.00	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15	5.26
	.01	4.13	4.78	5.19	5.49	5.72	5.92	6.08	6.22	6.35	6.46
17	.05	2.98	3.63	4.02	4.30	4.52	4.71	4.86	4.99	5.11	5.21
	.01	4.10	4.74	5.14	5.43	5.66	5.85	6.01	6.15	6.27	6.38
18	.05	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07	5.17
	.01	4.07	4.70	5.09	5.38	5.60	5.79	5.94	6.08	6.20	6.31
19	.05	2.96	3.59	3.98	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04	5.14
	.01	4.05	4.67	5.05	5.33	5.55	5.73	5.89	6.02	6.14	6.25
20	.05	2.95	3.58	3.96	4.23	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01	5.11
	.01	4.02	4.64	5.02	5.29	5.51	5.69	5.84	5.97	6.09	6.19
24	.05	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01
	.01	3.96	4.54	4.91	5.17	5.37	5.54	5.69	5.81	5.92	6.02
30	.05	2.89	3.49	3.84	4.10	4.30	4.46	4.60	4.72	4.83	4.92
	.01	3.89	4.45	4.80	5.05	5.24	5.40	5.54	5.65	5.76	5.85
40	.05	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.74	4.82
	.01	3.82	4.37	4.70	4.93	5.11	5.27	5.39	5.50	5.60	5.69
60	.05	2.83	3.40	3.74	3.98	4.16	4.31	4.44	4.55	4.65	4.73
	.01	3.76	4.28	4.60	4.82	4.99	5.13	5.25	5.36	5.45	5.53
120	.05	2.80	3.36	3.69	3.92	4.10	4.24	4.36	4.48	4.56	4.64
	.01	3.70	4.20	4.50	4.71	4.87	5.01	5.12	5.21	5.30	5.38
∞	.05	2.77	3.31	3.63	3.86	4.03	4.17	4.29	4.39	4.47	4.55
	.01	3.64	4.12	4.40	4.60	4.76	4.88	4.99	5.08	5.16	5.23

Tabel Studentized Range Statistik (lanjutan)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	α	DB galat
7.22	7.47	7.60	7.72	7.83	7.93	8.03	8.12	8.21	.05	5
10.70	10.89	11.08	11.24	11.40	11.55	11.68	11.81	11.93	.01	
6.79	6.92	7.03	7.14	7.24	7.34	7.43	7.51	7.59	.05	6
9.49	9.65	9.81	9.95	10.08	10.21	10.32	10.43	10.54	.01	
6.43	6.55	6.66	6.76	6.85	6.94	7.02	7.09	7.17	.05	7
8.71	8.86	9.00	9.12	9.24	9.35	9.46	9.55	9.65	.01	
6.18	6.29	6.39	6.48	6.57	6.65	6.73	6.80	6.87	.05	8
8.18	8.31	8.44	8.55	8.66	8.76	8.85	8.94	9.03	.01	
5.98	6.09	6.19	6.28	6.36	6.44	6.51	6.58	6.64	.05	9
7.78	7.91	8.03	8.13	8.23	8.32	8.41	8.49	8.57	.01	
5.83	5.93	6.03	6.11	6.20	6.27	6.34	6.40	6.47	.05	10
7.48	7.60	7.71	7.81	7.91	7.99	8.07	8.15	8.22	.01	
5.71	5.81	5.90	5.99	6.06	6.14	6.20	6.26	6.33	.05	11
7.25	7.36	7.46	7.56	7.65	7.73	7.81	7.88	7.95	.01	
5.62	5.71	5.80	5.88	5.95	6.03	6.09	6.15	6.21	.05	12
7.06	7.17	7.26	7.36	7.44	7.52	7.59	7.66	7.73	.01	
5.53	5.63	5.71	5.79	5.86	5.93	6.00	6.05	6.11	.05	13
6.90	7.01	7.10	7.19	7.27	7.34	7.42	7.48	7.55	.01	
5.46	5.55	5.64	5.72	5.79	5.85	5.92	5.97	6.03	.05	14
6.77	6.87	6.96	7.05	7.12	7.20	7.27	7.33	7.39	.01	
5.40	5.49	5.58	5.65	5.72	5.79	5.85	5.90	5.96	.05	15
6.66	6.76	6.84	6.93	7.00	7.07	7.14	7.20	7.26	.01	
5.35	5.44	5.52	5.59	5.66	5.72	5.79	5.84	5.90	.05	16
6.56	6.66	6.74	6.82	6.90	6.97	7.03	7.09	7.15	.01	
5.31	5.39	5.47	5.55	5.61	5.68	5.74	5.79	5.84	.05	17
6.48	6.57	6.66	6.73	6.80	6.87	6.94	7.00	7.05	.01	
5.27	5.35	5.43	5.50	5.57	5.63	5.69	5.74	5.79	.05	18
6.41	6.50	6.58	6.65	6.72	6.79	6.85	6.91	6.96	.01	
5.23	5.32	5.39	5.46	5.53	5.59	5.65	5.70	5.75	.05	19
6.34	6.43	6.51	6.58	6.65	6.72	6.78	6.84	6.89	.01	
5.20	5.28	5.36	5.43	5.49	5.55	5.61	5.66	5.71	.05	20
6.29	6.37	6.45	6.52	6.59	6.65	6.71	6.76	6.82	.01	
5.10	5.18	5.25	5.32	5.38	5.44	5.50	5.54	5.59	.05	24
6.11	6.19	6.26	6.33	6.39	6.45	6.51	6.56	6.61	.01	
5.00	5.08	5.15	5.21	5.27	5.33	5.38	5.43	5.48	.05	30
5.93	6.01	6.08	6.14	6.20	6.26	6.31	6.36	6.41	.01	
4.91	4.98	5.05	5.11	5.16	5.22	5.27	5.31	5.36	.05	40
5.77	5.84	5.90	5.96	6.02	6.07	6.12	6.17	6.21	.01	
4.81	4.88	4.94	5.00	5.06	5.11	5.16	5.20	5.24	.05	60
5.60	5.67	5.73	5.79	5.84	5.89	5.93	5.98	6.02	.01	
4.72	4.78	4.84	4.90	4.95	5.00	5.05	5.09	5.13	.05	120
5.44	5.51	5.56	5.61	5.66	5.71	5.75	5.79	5.83	.01	
4.62	4.68	4.74	4.80	4.85	4.89	4.93	4.97	5.01	.05	∞
5.29	5.35	5.40	5.45	5.49	5.54	5.57	5.61	5.65	.01	

Lampiran L

Perhitungan Analisis Varians

Metode Yates

Data eksperimen faktorial 2^4

(setiap sel telah dijumlahkan)

		C ₁		C ₂	
		D ₁	D ₂	D ₁	D ₂
A ₁	B ₁	(1) 462,40	d 592,45	c 413,27	cd 520,14
	B ₂	b 368,90	bd 689,30	bc 370,41	bcd 455,08
A ₂	B ₁	a 289,00	ad 554,10	ac 401,71	acd 622,25
	B ₂	ab 315,59	abd 610,18	abc 409,92	abcd 666,32

Perhitungan SS adalah sebagai berikut :

$$SS(\text{efek}) = \frac{(\text{contrast})^2}{r \times 2^4}$$

$$\text{Kontras A} = -(1) + a - b + ab - c + ac - bc + abc - d + ad - bd + abd - cd + acd - bcd + abcd$$

$$= -462,2 + 289 - 368,9 + 315,59 - 413,27 + 401,71 - 370,41 + 409,92$$

$$- 592,45 + 554,1 - 689,3 + 610,18 - 520,14 + 622,25 - 455,08 + 666,32$$

$$= -2,88$$

$$SS_A = \frac{(-2,88)^2}{32} = 0,2592$$

$$\begin{aligned}
\text{Kontras B} &= -(1) - a + b + ab - c - ac + bc + abc - d - ad + bd + abd - cd - acd + \\
&\quad bcd + abcd \\
&= -462,2 - 289 + 368,9 + 315,59 - 413,27 - 401,71 + 370,41 + 409,92 \\
&\quad - 592,45 - 554,1 + 689,3 + 610,18 - 520,14 - 622,25 + 455,08 - 666,32 \\
&= 30,38
\end{aligned}$$

$$SS_B = \frac{(30,38)^2}{32} = 28,8420125$$

$$\begin{aligned}
\text{Kontras C} &= -(1) - a - b - ab + c + ac + bc + abc - d - ad - bd - abd + cd + acd + \\
&\quad bcd + abcd \\
&= -462,2 - 289 - 368,9 - 315,59 + 413,27 + 401,71 - 370,41 + 409,92 \\
&\quad - 592,45 - 554,1 - 689,3 - 610,18 + 520,14 + 622,25 + 455,08 + 666,32 \\
&= -22,82
\end{aligned}$$

$$SS_C = \frac{(-22,82)^2}{32} = 16,2735125$$

$$\begin{aligned}
\text{Kontras D} &= -(1) - a - b - ab - c - ac - bc - abc + d + ad + bd + abd + cd + acd + \\
&\quad bcd + abcd \\
&= -462,2 - 289 - 368,9 - 315,59 - 413,27 - 401,71 - 370,41 - 409,92 \\
&\quad + 592,45 + 554,1 + 689,3 + 610,18 + 520,14 + 622,25 + 455,08 + 666,32 \\
&= 1678,62
\end{aligned}$$

$$SS_D = \frac{(1678,62)^2}{32} = 88055,1595$$

$$\begin{aligned}
\text{Kontras AB} &= (1) - a - b + ab + c - ac - bc + abc + d - ad - bd + abd + cd - acd - \\
&\quad bcd + abcd \\
&= 462,2 - 289 - 368,9 + 315,59 + 413,27 - 401,71 - 370,41 + 409,92 \\
&\quad + 592,45 - 554,1 - 689,3 + 610,18 + 520,14 - 622,25 - 455,08 + 666,32 \\
&= 239,52
\end{aligned}$$

$$SS_{AB} = \frac{(239,52)^2}{32} = 1792,8072$$

$$\begin{aligned}
\text{Kontras AC} &= (1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc + d - ad + bd - abd - cd + acd - \\
&\quad bcd + abcd \\
&= 462,2 - 289 + 368,9 - 315,59 - 413,27 + 401,71 - 370,41 + 409,92 \\
&\quad + 592,45 - 554,1 + 689,3 - 610,18 - 520,14 + 622,25 - 455,08 + 666,32 \\
&= 685,48
\end{aligned}$$

$$SS_{AC} = \frac{(685,48)^2}{32} = 14683,83845$$

$$\begin{aligned}
\text{Kontras AD} &= (1) - a + b - ab + c - ac + bc - abc - d + ad - bd + abd - cd + acd - \\
&\quad bcd + abcd \\
&= 462,2 - 289 + 368,9 - 315,59 + 413,27 - 401,71 + 370,41 - 409,92 \\
&\quad - 592,45 + 554,1 - 689,3 + 610,18 - 520,14 + 622,25 - 455,08 + 666,32 \\
&= 394,64
\end{aligned}$$

$$SS_{AD} = \frac{(394,64)^2}{32} = 4866,8978$$

$$\begin{aligned}
\text{Kontras BC} &= (1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc + d + ad - bd - abd - cd - acd + \\
&\quad bcd + abcd \\
&= 462,2 + 289 - 368,9 - 315,59 - 413,27 - 401,71 + 370,41 + 409,92 \\
&\quad + 592,45 + 554,1 - 689,3 - 610,18 - 520,14 - 622,25 + 455,08 + 666,32 \\
&= - 141,66
\end{aligned}$$

$$SS_{AC} = \frac{(-141,66)^2}{32} = 627,1111125$$

$$\begin{aligned}
\text{Kontras BD} &= (1) + a - b - ab + c + ac - bc - abc - d - ad + bd + abd - cd - acd + \\
&\quad bcd + abcd \\
&= 462,2 + 289 - 368,9 - 315,59 + 413,27 + 401,71 - 370,41 - 409,92 \\
&\quad - 592,45 - 554,1 + 689,3 + 610,18 - 520,14 - 622,25 + 455,08 + 666,32 \\
&= 233,5
\end{aligned}$$

$$SS_{BD} = \frac{(233,5)^2}{32} = 1703,820313$$

$$\begin{aligned}
\text{Kontras CD} &= (1) + a + b + ab - c - ac - bc - abc - d - ad - bd - abd + cd + acd + \\
&\quad bcd + abcd \\
&= 462,2 + 289 + 368,9 + 315,59 - 413,27 - 401,71 - 370,41 - 409,92 \\
&\quad - 592,45 - 554,1 - 689,3 - 610,18 + 520,14 + 622,25 + 455,08 + 666,32 \\
&= - 341,66
\end{aligned}$$

$$SS_{CD} = \frac{(-341,66)^2}{32} = 3647,861113$$

$$\begin{aligned}
\text{Kontras ABC} &= -(1) + a + b - ab + c - ac - bc + abc - d + ad + bd - abd + cd - acd \\
&\quad - bcd + abcd \\
&= -462,2 + 289 + 368,9 - 315,59 + 413,27 - 401,71 - 370,41 + 409,92 \\
&\quad - 592,45 + 554,1 + 689,3 - 610,18 + 520,14 - 622,25 - 455,08 + 666,32 \\
&= 80,88
\end{aligned}$$

$$SS_{ABC} = \frac{(80,88)^2}{32} = 204,4242$$

$$\begin{aligned}
\text{Kontras ABD} &= -(1) + a + b - ab - c + ac + bc - abc + d - ad - bd + abd + cd - acd \\
&\quad - bcd + abcd \\
&= -462,2 + 289 + 368,9 - 315,59 - 413,27 + 401,71 + 370,41 - 409,92 \\
&\quad + 592,45 - 554,1 - 689,3 + 610,18 + 520,14 - 622,25 - 455,08 + 666,32 \\
&= -102,8
\end{aligned}$$

$$SS_{ABD} = \frac{(-102,8)^2}{32} = 330,245$$

$$\begin{aligned}
\text{Kontras ACD} &= -(1) + a - b + ab + c - ac + bc - abc + d - ad + bd - abd - cd + acd \\
&\quad - bcd + abcd \\
&= -462,2 + 289 - 368,9 + 315,59 + 413,27 - 401,71 + 370,41 - 409,92 \\
&\quad + 592,45 - 554,1 + 689,3 - 610,18 - 520,14 + 622,25 - 455,08 + 666,32 \\
&= 176,16
\end{aligned}$$

$$SS_{ACD} = \frac{(176,16)^2}{32} = 969,7608$$

$$\begin{aligned}
\text{Kontras BCD} &= -(1) - a + b + ab + c + ac - bc - abc + d + ad - bd - abd - cd - acd \\
&\quad + bcd + abcd \\
&= -462,2 - 289 + 368,9 + 315,59 + 413,27 + 401,71 - 370,41 - 409,92 \\
&\quad + 592,45 + 554,1 - 689,3 - 610,18 - 520,14 - 622,25 + 455,08 + 666,32 \\
&= -206,18
\end{aligned}$$

$$SS_{BCD} = \frac{(-206,18)^2}{32} = 1328,443513$$

$$\begin{aligned}
\text{Kontras ABCD} &= (1) - a - b + ab - c + ac + bc - abc - d + ad + bd - abd + cd - acd - \\
&\quad bcd + abcd \\
&= 462,2 - 289 - 368,9 + 315,59 - 413,27 + 401,71 + 370,41 - 409,92 \\
&\quad - 592,45 + 554,1 + 689,3 - 610,18 + 520,14 - 622,25 - 455,08 + 666,32 \\
&= 218,92
\end{aligned}$$

$$SS_{ABCD} = \frac{(218,92)^2}{32} = 1497,68645$$

Jalan Biasa

Tabel 1 : Data A X B X C X D

		C ₁		C ₂	
		D ₁	D ₂	D ₁	D ₂
A ₁	B ₁	462,4	592,45	413,27	520,14
	B ₂	368,9	689,3	370,41	455,08
A ₂	B ₁	289	554,1	401,71	622,25
	B ₂	315,59	610,18	409,92	666,32

Tabel 2 : Data A X B

	B ₁	B ₂
A ₁	1988,26	1883,69
A ₂	1867,06	2002,01

Tabel 3 : Data A X C

	C ₁	C ₂
A ₁	2113,05	1758,9
A ₂	1768,87	2100,2

Tabel 4 : Data A X D

	D ₁	D ₂
A ₁	1614,98	2256,97
A ₂	1416,22	2452,85

Tabel 5 : Data B X C

	C ₁	C ₂
B ₁	1897,95	1957,37
B ₂	1983,97	1901,73

Tabel 6 : Data B X D

	D ₁	D ₂
B ₁	1566,38	2288,94
B ₂	1464,82	2420,88

Tabel 7 : Data C X D

	D ₁	D ₂
C ₁	1435,89	2446,03
C ₂	1595,31	2263,79

Tabel 8 : Data A X B X C

		C ₁	C ₂
A ₁	B ₁	1054,85	933,41
	B ₂	1058,2	825,49
A ₂	B ₁	843,1	1023,96
	B ₂	925,77	1076,24

Tabel 9 : Data A X B X D

		D ₁	D ₂
A ₁	B ₁	875,67	1112,59
	B ₂	739,31	1144,38
A ₂	B ₁	690,71	1176,35
	B ₂	725,51	1276,5

Tabel 10 : Data A X C X D

		D ₁	D ₂
A ₁	C ₁	831,3	1281,75
	C ₂	783,68	975,22
A ₂	C ₁	604,59	1164,28
	C ₂	811,63	1288,57

Tabel 11 : Data B X C X D

		D ₁	D ₂
B ₁	C ₁	751,4	1146,55
	C ₂	814,98	1142,64
B ₂	C ₁	684,49	1299,48
	C ₂	780,33	1121,4

Untuk keperluan Analisis Varians, maka dihitung harga *sum of squares* sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \sum Y^2 &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm}^2 \\
 &= (239,87)^2 + (222,53)^2 + (186,70)^2 + \dots + (305,17)^2 + (361,15)^2 \\
 &= 1996168,4 \\
 SS_R &= \frac{\left[\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \right]^2}{abcdn} \\
 &= \frac{59923390,64}{32} \\
 &= 1872605,958
 \end{aligned}$$

Dari Tabel 1 didapatkan :

$$\begin{aligned}
 J_{abcd} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left[\frac{y_{ijkl}^2}{n} \right] - SS_R \\
 &= \frac{(462,4^2 + 368,9^2 + 289^2 + \dots + 455,08^2 + 622,25^2 + 666,32^2)}{2} - SS_R \\
 &= \frac{3984718,776}{2} - 1872605,958 \\
 &= 119753,43
 \end{aligned}$$

Dari Tabel 2 didapatkan :

$$\begin{aligned}
 J_{ub} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \left[\frac{y_{ij}^2}{cdn} \right] - SS_R \\
 &= \frac{14995422,93}{8} - 1872605,958 \\
 &= 1821,908
 \end{aligned}$$

Dari Tabel 3 didapatkan :

$$\begin{aligned}
 J_{ac} &= \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \left[\frac{y_{ik}^2}{bdn} \right] - SS_R \\
 &= \frac{15098450,63}{8} - 1872605,958 \\
 &= 14700,371
 \end{aligned}$$

Dari Tabel 4 didapatkan :

$$\begin{aligned}
 J_{ad} &= \sum_{i=1}^a \sum_{l=1}^d \left[\frac{y_{il}^2}{bcn} \right] - SS_R \\
 &= \frac{15724226,19}{8} - 1872605,958 \\
 &= 92922,316
 \end{aligned}$$

Dari Tabel 5 didapatkan :

$$\begin{aligned} J_{bc} &= \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \left[\frac{y_{jk}^2}{adn} \right] - SS_R \\ &= \frac{14986225,47}{8} - 1872605,958 \\ &= 672,226 \end{aligned}$$

Dari Tabel 6 didapatkan :

$$\begin{aligned} J_{bd} &= \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d \left[\frac{y_{jl}^2}{acn} \right] - SS_R \\ &= \frac{15699150,23}{8} - 1872605,958 \\ &= 89787,821 \end{aligned}$$

Dari Tabel 7 didapatkan :

$$\begin{aligned} J_{cd} &= \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left[\frac{y_{kl}^2}{abn} \right] - SS_R \\ &= \frac{15714602,01}{8} - 1872605,958 \\ &= 91719,293 \end{aligned}$$

Dari Tabel 8 didapatkan :

$$\begin{aligned} J_{abc} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \left[\frac{y_{ijk}^2}{dn} \right] - SS_R \\ &= \frac{7559838,052}{4} - 1872605,958 \\ &= 17353,555 \end{aligned}$$

Dari Tabel 9 didapatkan :

$$\begin{aligned} J_{abd} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d \left[\frac{y_{ijl}^2}{cn} \right] - SS_R \\ &= \frac{7877535,954}{4} - 1872605,958 \\ &= 96778,031 \end{aligned}$$

Dari Tabel 10 didapatkan :

$$\begin{aligned} J_{acd} &= \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left[\frac{y_{ikl}^2}{bn} \right] - SS_R \\ &= \frac{7939384,031}{4} - 1872605,958 \\ &= 112240,05 \end{aligned}$$

Dari Tabel 11 didapatkan :

$$\begin{aligned} J_{bcd} &= \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left[\frac{y_{jkl}^2}{an} \right] - SS_R \\ &= \frac{7872625,132}{4} - 1872605,958 \\ &= 95550,325 \end{aligned}$$

Dari harga-harga di atas selanjutnya dapat dihitung

$$\begin{aligned} SS_A &= \sum_{i=1}^a \left(\frac{A_i^2}{bcdn} \right) - SS_R \\ &= \frac{(3871,95^2 + 3869,07^2)}{16} - SS_R \\ &= \frac{29961699,47}{16} - 1872605,958 \\ &= 0,259 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_B &= \sum_{j=1}^b \left(\frac{B_j^2}{acdn} \right) - SS_R \\
&= \frac{(3855,06^2 + 3885,7^2)}{16} - SS_R \\
&= \frac{29962156,79}{16} - 1872605,958 \\
&= 28,841
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_C &= \sum_{k=1}^c \left(\frac{C_k^2}{abcdn} \right) - SS_R \\
&= \frac{(3881,87^2 + 3859,1^2)}{16} - SS_R \\
&= \frac{29961955,47}{16} - 1872605,958 \\
&= 16,273
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_D &= \sum_{l=1}^d \left(\frac{D_l^2}{abcn} \right) - SS_R \\
&= \frac{(3031,2^2 + 4709,85^2)}{16} - SS_R \\
&= \frac{31370577,87}{16} - 1872605,958 \\
&= 88055,159
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_{AB} &= J_{ab} - SS_A - SS_B \\
&= 1821,908 - 0,259 - 28,832 \\
&= 1792,817
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_{AC} &= J_{ac} - SS_A - SS_C \\
&= 14700,371 - 0,259 - 16,273 \\
&= 14683,839
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_{AD} &= J_{ad} - SS_A - SS_D \\
&= 92922,316 - 0,259 - 88055,159 \\
&= 4866,898
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_{BC} &= J_{bc} - SS_B - SS_C \\
&= 672,226 - 28,832 - 16,273 \\
&= 627,121
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_{BD} &= J_{bd} - SS_B - SS_D \\
&= 89787,821 - 28,832 - 88055,159 \\
&= 1703,83
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_{CD} &= J_{cd} - SS_C - SS_D \\
&= 91719,293 - 16,273 - 88055,159 \\
&= 3647,861
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_{ABC} &= J_{abc} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} \\
&= 17353,555 - 0,259 - 28,832 - 16,273 - 1792,817 - 14683,839 - 627,121 \\
&= 204,414
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_{ABD} &= J_{abd} - SS_A - SS_B - SS_D - SS_{AB} - SS_{AD} - SS_{BD} \\
&= 96778,031 - 0,259 - 28,832 - 88055,159 - 1792,817 - 4866,898 - 1703,83 \\
&= 330,236
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_{ACD} &= J_{acd} - SS_A - SS_C - SS_D - SS_{AC} - SS_{AD} - SS_{CD} \\
&= 112240,05 - 0,259 - 16,273 - 88055,159 - 14683,839 - 4866,898 - 3647,861 \\
&= 969,761
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
SS_{BCD} &= J_{bcd} - SS_B - SS_C - SS_D - SS_{BC} - SS_{BD} - SS_{CD} \\
&= 95550,325 - 28,832 - 16,273 - 88055,159 - 627,121 - 1703,83 - 3647,861 \\
&= 1328,443
\end{aligned}$$