

**ANALISA DESAIN EKSPERIMEN PEMBUATAN BATAKO
BERBAHAN ALTERNATIF LUMPUR LAPINDO DAN
CAMPURAN *FLY ASH* DENGAN METODE TAGUCHI**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

CHANDRA PRASETYA

NIM. 0910670007 – 67

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2013

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISA DESAIN EKSPERIMEN PEMBUATAN BATAKO
BERBAHAN ALTERNATIF LUMPUR LAPINDO DAN
CAMPURAN *FLY ASH* DENGAN METODE TAGUCHI

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

CHANDRA PRASETYA

NIM. 0910670007 – 67

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Arif Rahman, ST., MT.
NIP. 19740528 200801 1 010

Remba Yanuar Efranto, ST., MT.
NIP. 19840116 200812 1 003

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA DESAIN EKSPERIMEN PEMBUATAN BATAKO
BERBAHAN ALTERNATIF LUMPUR LAPINDO DAN
CAMPURAN FLY ASH DENGAN METODE TAGUCHI**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

CHANDRA PRASETYA
NIM. 0910670007 – 67

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 5 Juni 2013

Skripsi I

Skripsi II

Prof. Dr. Ir. Pratikto, M.MT.
NIP. 19461110 198103 1 001

Ir. Bambang Indrayadi, MT.
NIP. 19600905 198701 1 001

Komprehensif

Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19730819 199903 1 002

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Industri

Nasir Widha Setyanto, ST., MT.
NIP. 19700914 200501 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (SARJANA TEKNIK) dibatalkan serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 5 Juni 2013

Mahasiswa



Chandra Prasetya
NIM. 0910670007

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada :
Ayahanda dan Ibunda Tercinta*

PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Analisa Desain Eksperimen Pembuatan Batako Berbahan Alternatif Lumpur Lapindo Dan Campuran Fly Ash Dengan Metode Taguchi”**. Serta tidak lupa shalawat dan salam kami haturkan kepada Rasulullah, Nabi Muhammad SAW.

Tugas akhir ini disusun dengan tujuan untuk mendapatkan gelar sarjana strata satu (S-1) pada Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Setelah melewati berbagai kesulitan terutama pada keterbatasan kemampuan penulis, tugas akhir ini dapat diselesaikan berkat adanya bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini terutama kepada :

1. Bapak Nasir Widha Setyanto, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Industri dan juga dosen pengampuh mata kuliah Rekayasa Kualitas sehingga secara tidak langsung ikut berperan dalam penulisan tugas akhir ini atas ilmu-ilmu yang telah diberikan kepada penulis.
2. Bapak Arif Rahman, ST., MT. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Industri dan juga Dosen Pembimbing I atas kesabaran, masukan, dan juga ilmu kepada penulis sehingga selesainya tugas akhir ini.
3. Bapak Remba Yanuar Efranto, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II atas kesabaran, masukan, dan juga ilmu kepada penulis sehingga selesainya tugas akhir ini.
4. Ibu Dra. Mutri Astuti, MSIE. selaku Dosen KKDK konsenterasi Rekayasa Sistem Industri atas masukan, bimbingan, dan juga ilmu yang telah diberikan sehingga dapat tertulisnya tugas akhir ini hingga selesai.
5. Ibu Rahmi Yuniarti, ST., MT dan ibu Oke Oktavianty, S.Si, MT serta ibu Agustina Eunike, ST., MT, MBA selaku dosen pengamat pada seminar proposal maupun seminar hasil atas saran, masukan, dan bimbingan yang telah diberikan.
6. Orang tua tercinta, bapak Irwan Prasetya dan ibu Watikah atas doa-doa yang tidak pernah terputus, kasih sayang yang tidak pernah meminta balasan, pendidikan yang telah diberikan, dan juga semua perjuangan dalam hal apapun sehingga sulit akan penulis untuk membalas.

7. Kedua saudara tercinta, Stefanie Prasetya (Bom-Bom) dan Felix Prasetya atas doa-doa yang selalu diberikan dan juga semangat moril yang terus diberikan.
8. Bapak dan ibu Dosen Pengajar atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis.
9. Bapak dan ibu karyawan yang khususnya pada bagian *recording* atas pelayanan yang diberikan selama masa perkuliahan hingga proses administrasi untuk tugas akhir.
10. Saudari Pipiet Gayatri atas doa-doa dan juga motivasi yang sangat besar untuk penulis hingga selesainya pengerjaan tugas akhir ini.
11. Saudara-saudara Teknik Industri 2009 (ZERO NINE) yang telah memberikan doa, semangat, serta motivasi yang tidak pernah putus. Ucapan khusus kepada ARENA CREW (Barkah, Deldana, Vito, Adit, Arga, Allan, Arie, Syaiful, Ipan “UNYIL”, Miftahul Bahri, Rieldho) atas doa serta motivasi dalam keseharian sampai selesainya tugas akhir ini.
12. Saudari Elok R.C atas doa dan semangat yang diberikan serta mau meminjamkan sepeda motor “P 5072 VL” untuk pengambilan *sampel* lumpur Lapindo.
13. Saudara Aditya Warman atas ketersediaannya menemani pengambilan *sampel* lumpur Lapindo.
14. Saudara Allan H atas ketersediaannya menemani pengambilan *sampel Fly Ash*.

Dalam segala bentuk usaha pastinya terdapat suatu kesalahan, maka dari itu segala kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan oleh penulis. Akhir kata, untuk tugas akhir ini semoga mendapatkan manfaat yang selayaknya dan juga memenuhi kebutuhan referensi. Terima kasih kepada semua pihak baik yang terlibat secara langsung maupun secara tidak langsung, semoga mendapat imbalan yang sepiantasnya dari ALLAH SWT.

Malang, 8 Mei 2013

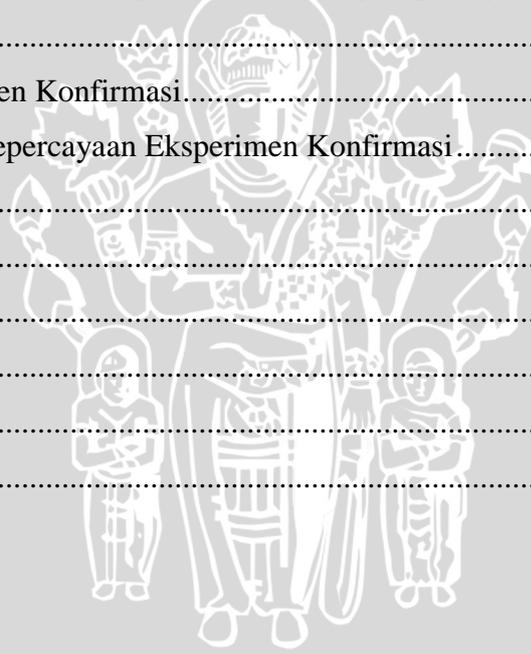
Penulis

DAFTAR ISI

	halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Batasan Masalah	4
1.7 Asumsi	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Batako.....	5
2.1.1 Jenis dan Ukuran Batako.....	6
2.1.2 Persyaratan Mutu.....	7
2.1.3 Pengujian Kuat Tekan Beton (Batako).....	7
2.2 Semen	8
2.3 Air.....	9
2.4 Agregat	10
2.5 Faktor Air Semen	10
2.6 <i>Fly Ash</i>	11
2.7 Kualitas.....	12
2.8 Rekayasa Kualitas Taguchi	13
2.8.1 Metode Taguchi	13
2.8.2 <i>Orthogonal Array</i>	18

2.8.3 Klasifikasi Karakteristik Kualitas	19
2.8.4 Klasifikasi Parameter (Faktor)	20
2.8.5 <i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR)	22
2.8.6 <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA)	23
2.8.7 Interval Kepercayaan.....	25
2.8.8 Percobaan Konfirmasi	26
2.9 Penelitian Terdahulu	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Tipe Penelitian	29
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.3 Tahap Pendahuluan	30
3.4 Sumber Data.....	31
3.5 Desain Penelitian.....	31
3.5.1 Alat dan Bahan	31
3.5.2 Produk Eksperimen	32
3.5.3 Metode Pengambilan <i>Sampel</i>	33
3.5.4 Rancangan Eksperimen.....	33
3.5.5 Penentuan Respon	34
3.5.6 Identifikasi Faktor-faktor yang Berpengaruh.....	35
3.5.7 Pemisahan Faktor Terkendali dan Faktor Tidak Terkendali..	35
3.5.8 Penentuan Jumlah Faktor dan Level Faktor.....	35
3.5.9 Identifikasi Interaksi Antar Faktor	35
3.5.10 Perhitungan Derajat Kebebasan	36
3.5.11 Pemilihan <i>Orthogonal Array</i>	36
3.5.12 Penugasan Faktor Pada <i>Orthogonal Array</i>	36
3.6 Persiapan dan Pelaksanaan Eksperimen.....	37
3.7 Analisis Data dan Interpretasi Hasil.....	37
3.8 Percobaan Konfirmasi	37
3.9 Kesimpulan dan Saran	37
3.10 Diagram Alir Penelitian	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Perencanaan Eksperimen.....	39
4.1.1 Penetapan Karakteristik Kualitas	39
4.1.2 Penetapan Faktor Berpengaruh	39

4.1.3 Penetapan Level Faktor Berpengaruh	40
4.1.4 Penetapan <i>Orthogonal Array</i>	42
4.2 Pelaksanaan Eksperimen	43
4.2.1 Pembuatan Batako dengan Eksperimen Taguchi	43
4.2.2 Pengujian Kuat Tekan Batako Eksperimen Taguchi	45
4.3 Analisis Hasil Eksperimen	46
4.3.1 Pengolahan Data Hasil Eksperimen	46
4.3.1.1 Perhitungan Nilai Rata-rata dan Nilai SNR	46
4.3.1.2 Perhitungan <i>Analysis of Variance</i> Nilai Rata-rata ...	48
4.3.1.3 Perhitungan <i>Analysis of Variance</i> Nilai <i>Signal to Noise Ratio</i>	54
4.3.2 Penentuan <i>Setting Level</i> Optimal	59
4.3.3 Perkiraan Kondisi Optimal dan Selang Kepercayaan	59
4.4 Tahap Validasi	62
4.4.1 Eksperimen Konfirmasi	62
4.4.2 Selang Kepercayaan Eksperimen Konfirmasi	64
4.5 Pembahasan	66
BAB V PENUTUP	68
5.1 Kesimpulan	68
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN	71



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Persyaratan Minimum Kuat Tekan Batako	7
Tabel 2.2	Komponen Semen <i>Portland</i>	8
Tabel 2.3	Komposisi Kimia <i>Fly Ash</i>	11
Tabel 2.4	Tabel <i>Orthogonal Array</i>	19
Tabel 2.5	Klasifikasi Karakteristik Kualitas	20
Tabel 2.6	Contoh Tabel Respon	24
Tabel 2.7	Perbandingan Interval Kepercayaan Untuk Kondisi Optimal dan Eksperimen Metode Taguchi	26
Tabel 2.8	Perbandingan Penelitian	28
Tabel 3.1	Tabel <i>Orthogonal Array</i> L ₉ (3 ⁴)	33
Tabel 3.2	Faktor dan Level Faktor Berpengaruh	36
Tabel 3.3	Perhitungan Derajat Kebebasan	36
Tabel 4.1	Penetapan Level Faktor yang Berpengaruh	41
Tabel 4.2	Perhitungan <i>Degree of Freedom</i>	42
Tabel 4.3	<i>Orthogonal Array</i> L ₉ (3 ⁴)	43
Tabel 4.4	Contoh Perhitungan Bahan Baku (Eksperimen ke-1)	44
Tabel 4.5	Hasil Kuat Tekan Batako Eksperimen Taguchi	45
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Nilai Rata-rata dan Nilai SNR	48
Tabel 4.7	Tabel Respon Nilai Rata-rata	49
Tabel 4.8	<i>Analysis of Variance</i> Nilai Rata-rata Sebelum <i>Pooling</i>	52
Tabel 4.9	<i>Analysis of Variance</i> Nilai Rata-rata Setelah <i>Pooling</i>	53
Tabel 4.10	<i>Analysis of Variance</i> Perbandingan Sebelum dan Sesudah <i>Pooling Up</i>	54
Tabel 4.11	Tabel Respon untuk Nilai SNR	56
Tabel 4.12	<i>Analysis of Variance</i> Nilai SNR	58
Tabel 4.13	Tabel Penentuan <i>Setting Level</i>	59
Tabel 4.14	Hasil Kuat Tekan Batako Eksperimen Konfirmasi	62

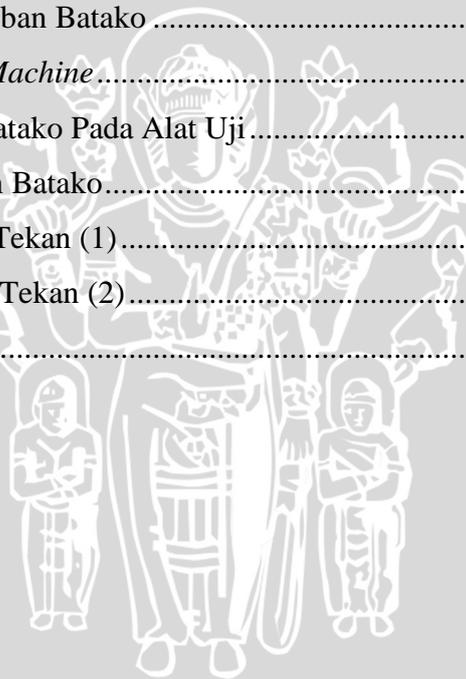
DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Batako	6
Gambar 2.2	<i>Type-type</i> Batako	7
Gambar 2.3	Klasifikasi Parameter	21
Gambar 3.1	Produk Eksperimen	32
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 4.1	Bagan Eksperimen Ke-1	44
Gambar 4.2	<i>Response Graph</i> Nilai Rata-rata	50
Gambar 4.3	<i>Response Graph</i> Nilai SNR	56
Gambar 4.4	Perbandingan Selang Kepercayaan Untuk Nilai Rata-rata	65
Gambar 4.5	Perbandingan Selang Kepercayaan Untuk Nilai SNR	66



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Dokumentasi Pembuatan Batako	71
Lampiran 1.1	Lumpur Lapindo Kering (1).....	71
Lampiran 1.2	Lumpur Lapindo Kering (2).....	71
Lampiran 1.3	<i>Fly Ash</i>	72
Lampiran 1.4	Komposisi Pembentukan Batako Alternatif.....	72
Lampiran 1.5	Pengadukan Komposisi	73
Lampiran 1.6	Cetakan Batako Manual	73
Lampiran 1.7	Hasil Batako Alternatif (1).....	74
Lampiran 1.8	Hasil Batako Alternatif (2).....	74
Lampiran 1.9	Pengukuran Beban Batako	75
Lampiran 1.10	<i>Compression Machine</i>	75
Lampiran 1.11	Pemasangan Batako Pada Alat Uji.....	76
Lampiran 1.12	Uji Kuat Tekan Batako.....	76
Lampiran 1.13	Hasil Uji Kuat Tekan (1).....	77
Lampiran 1.14	Hasil Uji Kuat Tekan (2).....	77
Lampiran 2	Tabel- $F_{\alpha=0,05}$	78



RINGKASAN

Chandra Prasetya, Program Studi Teknik Industri, Universitas Brawijaya, April 2013, Analisa Desain Eksperimen Pembuatan Batako Berbahan Alternatif Lumpur Lapindo Dan Campuran *Fly Ash* Dengan Metode Taguchi, Dosen Pembimbing : Arif Rahman, Remba Yanuar.

Batako merupakan bahan bangunan berupa bata cetak yang tersusun dari komposisi material meliputi agregat (pasir dan kerikil), semen *Portland*, dan air. Material-material yang mempunyai kemiripan karakteristik dapat menjadi alternatif substitusi, termasuk yang berasal dari limbah. Lumpur Lapindo merupakan limbah dari semburan lumpur panas yang masih menyembur dan terkumpul menjadi danau lumpur. Memiliki karakteristik yang sama dengan pasir, sehingga dapat dijadikan material substitusi agregat halus. *Fly ash* merupakan limbah sisa pembakaran batubara yang mempunyai kemiripan karakteristik dengan semen maka *fly ash* dapat digunakan sebagai material substitusi semen.

Mengevaluasi pembuatan batako berbahan alternatif ini menggunakan desain eksperimen dengan metode Taguchi. Metode Taguchi yang merupakan metode perbaikan kualitas untuk percobaan baru serta pada penekanan biaya seminimal mungkin. Penelitian ini dimulai dengan mencari faktor-faktor terkontrol untuk pembentukan batako alternatif. Faktor-faktor terkontrol tersebut terdiri dari rasio semen dan agregat, rasio faktor air semen, rasio komposisi *fly ash*, serta rasio komposisi pasir dan lumpur Lapindo. Kemudian menentukan matriks *orthogonal array* sesuai dengan yang diharapkan peneliti maka *orthogonal array* yang digunakan yaitu L9 (3^4). Karakteristik pada penelitian ini merupakan *Larger The Better* dengan respon yang dicari yaitu kuat tekan pada batako alternatif.

Berdasarkan pengujian kuat tekan batako alternatif didapatkan bahwa faktor-faktor yang signifikan yaitu rasio semen dan agregat serta rasio faktor air semen, sedangkan faktor-faktor yang tidak signifikan yaitu rasio komposisi *fly ash* serta rasio pasir dan lumpur Lapindo. Berdasarkan uji ANOVA menunjukkan bahwa penggantian semen dengan *fly ash* dan penggantian agregat halus (pasir) dengan lumpur Lapindo tidak menyebabkan perubahan atau penurunan pada kuat tekan batako secara signifikan. Sehingga bahan-bahan limbah tersebut dapat digunakan sebagai bahan alternatif. Pengujian kuat tekan batako eksperimen konfirmasi menunjukkan rata-rata kuat tekan batako alternatif sebesar 6,8474 Mpa yang merupakan tingkat mutu II dalam SNI 03-0349-1989.

Kata kunci : Batako, *Fly Ash*, Lumpur Lapindo, Desain Eksperimen, Metode Taguchi

SUMMARY

Chandra Prasetya, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, April 2013, Analysis Experimental Design of Concrete Block Manufacture Made From Alternatives Lapindo Mud and Mixed Fly Ash By Taguchi Method, Supervisors: Arif Rahman, Remba Yanuar Efranto.

Concrete block is a building material composed of printed materials, including the composition of aggregate (sand and gravel), Portland cement, and water. Materials with similar characteristics can be an alternative substitution, including those from waste. Lapindo mud is a waste of a mud volcano that still spurt and collected into a lake of mud. It has the same characteristics with the sand, so it can be used as smooth aggregate substitute material. Fly ash is a coal combustion waste that has some similarities with the characteristics of the cement, so fly ash can be used as a cement substitute material.

Evaluate this alternative concrete block manufacture using design of experiments with Taguchi method. Taguchi method is a method of quality improvement for a new trial as well as the suppression costs to a minimum. This study began with a search for controlled factors for the formation of an alternative concrete block. Controlled factors consist of cement and aggregate ratio, the factor ratio of water-cement, the ratio of fly ash composition, and the composition ratio of sand and mud Lapindo. Then determine the orthogonal array matrix as expected Researcher then the orthogonal array which is used L9 (3^4). Characteristic in this study is Larger The Better with response sought by the compressive strength of the alternative concrete block.

Based on alternative testing concrete block compressive strength was found that significant factors are the ratio of cement and aggregates and the factor ratio of water-cement, whereas factors that are not significant, which is the ratio of fly ash composition and the ratio of sand and mud Lapindo. Based on the ANOVA test showed that the replacement of cement with fly ash and replacement of smooth aggregate (sand) with Lapindo mud do not cause a change or a decrease in the compressive strength of concrete blocks significantly. So that the waste materials can be used as an alternative material. Compressive strength testing of concrete block confirmation experiment showed an average compressive strength of 6.8474 MPa which is the quality level II in SNI 03-0349-1989.

Key words: Concrete block, *Fly Ash*, Lapindo Mud, Experimental Design, Taguchi Method

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini memuat penjelasan antara lain mengenai latar belakang, identifikasi masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta batasan masalah dan asumsi pada penelitian yang digunakan untuk pembatasan ruang lingkup penelitian.

1.1 Latar Belakang

Bencana lumpur Lapindo yang terjadi di Porong merupakan lumpur aktif yang telah lama terjadi, terhitung sejak tahun 2006 hingga sekarang masih menyemburkan lumpur panas dari dalam perut bumi. Lumpur lapindo merupakan lumpur aktif dimana memiliki kandungan-kandungan seperti cairan dan gas yang berasal dari dalam bumi berupa gas metana, karbondioksida, dan nitrogen. Lumpur aktif yang keluar dari dalam perut bumi dengan skala besar disebut banjir lumpur aktif atau banjir lumpur panas yang memiliki materi lumpur aktif terdiri dari tanah yang mengendap dalam cairan dan materi lainnya yaitu cairan hidrokarbon. Lumpur Lapindo berbeda dengan lumpur secara umum, dikarenakan lumpur lapindo merupakan lumpur aktif yang kandungannya terdapat gas alam dan juga endapan lumpur. Dalam pemanfaatannya lumpur Lapindo dianggap limbah yang sangat berbahaya karena zat-zat yang terkandung didalamnya, akan tetapi telah banyak pemanfaatan lumpur Lapindo yang digunakan sebagai bahan alternatif untuk pembuatan barang-barang seperti glatsir, gerabah konvensional, bata, genteng konvensional, porselin, paving blok, dan lain-lainnya dikarenakan sifatnya yang bagus sebagai bahan pengikat.

Lumpur merupakan cairan atau semi cair antara perpaduan air dengan tanah, dimana lumpur terjadi saat tanah sedang dalam keadaan basah. Secara geologis, lumpur adalah campuran air dan partikel endapan lumpur serta tanah liat. Mengacu dari pengertian lumpur secara umum dapat diambil sebuah pernyataan bahwa lumpur memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan secara umum lumpur dapat digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan bahan-bahan bangunan seperti bata merah ataupun bahan campuran untuk pupuk. Sedangkan kekurangannya yaitu lumpur sering dipandang oleh sebagian kalangan masyarakat sebagai limbah yang tidak terpakai karena dapat mengotori lingkungan sekitarnya. Dengan teknologi pemanfaatan limbah padat dapat mengurangi jumlah limbah padat sehingga biaya pengolahan menurun dan

dapat meningkatkan manfaat bahan baku, pemanfaatan lumpur sendiri antara lain digunakan sebagai produk pupuk dan produk bahan bangunan.

Telah banyak pemanfaatan lumpur lapindo sebagai bahan alternatif dalam pembuatan berbagai macam barang, terutama bahan bangunan dalam hal ini batako. Kandungan kimia pada lumpur lapindo yang memiliki ciri-ciri hampir mirip dengan semen membuat lumpur lapindo diyakini dapat menjadi bahan pengikat seperti semen.

Batako merupakan bahan bangunan yang berupa bata cetak alternatif sebagai pengganti batu bata yang tersusun dari komposisi antara pasir, semen *Portland*, dan air. Bentuk batako terdiri dari dua jenis yaitu batako berlubang (*hollow block*) dan batako tidak berlubang (*solid block*) serta memiliki ukuran yang bervariasi untuk kedua jenis batako tersebut. Batako ditujukan untuk konstruksi-konstruksi dinding bangunan nonstruktural, yaitu sebagai dinding pengisi yang harus diperkuat dengan rangka, yang terdiri dari atas kolom dan balok beton bertulang yang dicor dalam lubang-lubang batako, dan perkuatan dipasang pada sudut-sudut, pertemuan dan persilangan. Sebagai bahan pengganti batu bata batako memiliki kekurangan dan kelebihan. Kelebihannya yaitu lebih hemat dari batu bata dalam hal waktu pemasangan, harga per-satuannya, dan juga tampilan tekstur dinding yang lebih rapi apabila dinding tidak diberi plester atau ekspos. Kekurangannya yaitu batako dinilai kurang kuat dari bata merah karena memiliki dimensi lebih besar dan memiliki rongga yang berfungsi sebagai tempat pengisian semen untuk pemasangan batako itu sendiri. Batako juga memiliki sifat insulasi yang cukup baik yang menyebabkan udara di dalam ruangan akan menjadi lebih panas.

Dalam pembuatan batako diperlukan semen sebagai bahan baku setelah pasir, sedangkan untuk pembuatan semen biasanya juga digunakan bahan tambahan atau bahan campuran yaitu sisa pembakaran batubara (*fly ash*), pada pabrik semen biasanya menggunakan *fly ash* sebesar 4-6% berat *raw mill*. *Fly ash* merupakan terminology umum untuk abu terbang yang ringan yang timbul dari suatu proses pembakaran suatu bahan yang lazimnya menghasilkan abu. *Fly ash* memiliki ukuran kurang lebih 100-200 mesh (1 mesh = 1 lubang/inch²), ukuran ini relatif kecil dan ringan sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan substitusi bantuan *trass* pada industri pembuatan semen. Selain sebagai bahan campuran untuk semen, *fly ash* dimanfaatkan sebagai campuran beton (*concrete*) dengan nantinya dicetak sebagai *paving block* atau batako.

Pada penelitian pembuatan batako berbahan alternatif lumpur Lapindo dan campuran *fly ash* memiliki tujuan yaitu untuk mengetahui kuat tekan maksimum pada

batako dengan dipengaruhi faktor-faktor yang terkontrol. Secara global tujuan dari penelitian ini yaitu sedikit mengurangi limbah yang dihasilkan lumpur Lapindo maupun limbah pembakaran batubara (*fly ash*), sehingga digunakanlah desain eksperimen metode Taguchi yang merupakan *tools* untuk penelitian ini. Metode Taguchi sendiri merupakan metode untuk perbaikan kualitas dengan melakukan percobaan baru serta penekanan biaya seminimal mungkin.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka didapatkan identifikasi masalah sebagai berikut:

1. Bencana lumpur Lapindo menyebabkan ketersediaan material yang melimpah tetapi belum dimanfaatkan.
2. Banyaknya limbah pembakaran batu bara terutama *fly ash* yang dihasilkan oleh industri terutama yang mempergunakan batu bara sebagai bahan energi utama.
3. Lumpur lapindo dan *fly ash* memiliki karakteristik material yang memungkinkan untuk dipergunakan sebagai bahan baku batako tetapi belum diujikan.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang berdasarkan pada latar belakang diatas yaitu bagaimana komposisi penggunaan lumpur Lapindo dan *fly ash* dalam pembuatan batako yang mempunyai kualitas sesuai dengan standart.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini sebagai berikut:

1. Menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi terhadap kuat tekan batako.
2. Mengetahui kualitas kuat tekan batako bahan baku alternatif lumpur lapindo dengan campuran *fly ash*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengembangkan pemanfaatan limbah lumpur lapindo dan limbah *fly ash* sebagai bahan baku dan campuran dalam pembuatan batako.
2. Untuk pengembangan produk khususnya batako dengan menggunakan bahan alternatif.

1.6 Batasan Penelitian

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini guna memfokuskan ruang lingkup penelitian adalah sebagai berikut:

1. Batako yang akan diteliti merupakan batako tipe E (SNI 03-0349-1989).
2. Tidak membahas sifat kimia sebelum dan sesudah pembuatan batako.
3. Sifat fisis pada batako hanya difokuskan pada uji kuat tekan.

1.7 Asumsi

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Umur untuk sampel penelitian ini diasumsikan sama.
2. Komposisi agregat halus dalam penelitian ini (pasir dengan lumpur Lapindo) diasumsikan sama.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka merupakan bab yang berisi tentang teori-teori pendukung dalam penelitian ini, untuk teori-teori yang diperlukan hanya berkaitan pada permasalahan yang dihadapi dalam penelitian ini, meliputi batako, semen, air, agregat, faktor air semen, *fly ash*, kualitas, rekayasa kualitas Taguchi, dan penelitian terdahulu.

2.1 Batako

Batako merupakan bahan bangunan yang berupa bata cetak alternatif pengganti batu bata yang tersusun dari komposisi antara pasir, semen *Portland*, dan air. Batako sendiri difokuskan sebagai konstruksi-konstruksi dinding non struktural (tidak memikul beban) yaitu digunakan untuk bangunan ringan atau darurat. Bentuk dari batako atau bata cetak sendiri terdiri dari dua jenis yaitu batako yang berlubang (*hollow block*) dan batako yang tidak berlubang (*solid block*) serta memiliki ukuran yang bervariasi.

Menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (1982) pasal 6, “Batako adalah bata yang dibuat dengan mencetak dan memelihara dalam kondisi lembab”. Menurut SNI 03-0349-1989, “*Conblock (concrete block)* atau bata cetak beton adalah komponen bangunan yang dibuat dari campuran semen *Portland* atau pozolan, pasir, air dan atau tanpa bahan tambahan lainnya (*additive*), dicetak sedemikian rupa hingga memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai bahan untuk pasangan dinding”.

Dari pengertian diatas dapat disimpulkan bahwa pengertian batako yaitu salah satu bahan bangunan yang berupa batu-batuan yang proses pengerasannya tidak perlu dibakar seperti batu bata dengan bahan-bahan pembentuknya campuran dari pasir, semen, air, dan kerikil serta tanpa atau bahan tambahan yang lainnya (*additive*). Dalam pencetakannya melalui proses pemadatan atau pengerasan yang dilakukan dengan cara tanpa pembakaran dengan pemeliharannya dengan ditempatkan pada lokasi yang lembab.

Berikut merupakan bentuk dari batako baik berlubang atau tidak berlubang yang ditunjukkan pada Gambar 2.1



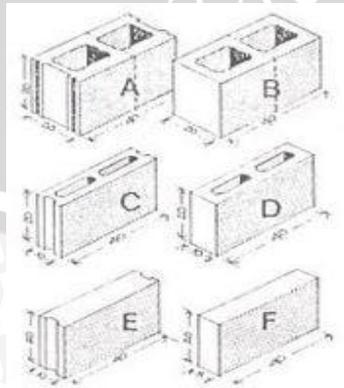
Gambar 2.1 Batako

2.1.1 Jenis dan Ukuran Batako

Ukuran dan jenis batako atau bata cetak bermacam-macam sesuai dengan kebutuhan, untuk jenis batako dibagi menjadi dua jenis yaitu batako yang berlubang (*hollow block*) dan batako tidak berlubang (*solid block*). Ukuran batako yang standar adalah sebagai berikut (SNI 03-0349-1989):

1. Type A
Panjang 40 cm, lebar 20 cm, tinggi 20 cm, berlubang, untuk dinding pemikul beban atau dinding luar.
2. Type B
Panjang 40 cm, lebar 20 cm, tinggi 20 cm, berlubang, batu khusus sebagai penutup pada sudut-sudut dan pertemuan.
3. Type C
Panjang 40 cm, lebar 10 cm, tinggi 20 cm, berlubang, digunakan sebagai dinding pengisi dengan tebal 10 cm.
4. Type D
Panjang 40 cm, lebar 10 cm, tinggi 20 cm, berlubang, digunakan sebagai dinding pengisi atau pemisah.
5. Type E
Panjang 40 cm, lebar 10 cm, tinggi 20 cm, tidak berlubang, dipergunakan sebagai dinding pengisi atau pemikul sebagai hubungan sudut-sudut dan pertemuan.
6. Type F
Panjang 40 cm, lebar 8 cm, tinggi 20 cm, tidak berlubang, digunakan sebagai dinding pengisi.

Berikut ini pada Gambar 2.2 menjelaskan jenis dan juga ukuran-ukuran batako:



Gambar 2.2 Type-type Batako

2.1.2 Persyaratan Mutu

Menurut SNI03-0349-1989, bata beton pejal maupun berlubang dibedakan berdasarkan tingkat mutunya, yaitu:

1. Tingkat Mutu I
2. Tingkat Mutu II
3. Tingkat Mutu III
4. Tingkat Mutu IV

Setelah dibedakan berdasarkan tingkat mutu dari batako baik yang tidak berlubang maupun yang berlubang, didapatkan klasifikasi persyaratan kuat tekan minimum batako pejal sebagai bahan bangunan dinding menurut SNI 03-0349-1989. Tabel 2.1 Berikut merupakan tabel persyaratan minimum kuat tekan minimum batako:

Tabel 2.1 Persyaratan Minimum Kuat Tekan Batako

MUTU	KUAT TEKAN MINIMUM (Mpa)
I	9,7
II	6,7
III	3,7
IV	2

Sumber : SNI 03-0349-1989

Keterangan : Mpa (mega pascal), 1 Mpa = 10 kg/cm².

2.1.3 Pengujian Kuat Tekan Beton (Batako)

Beton khususnya batako umumnya digunakan sebagai bahan utama untuk rumah tinggal hingga gedung yang bertingkat, agar penggunaannya sesuai kebutuhan yang direncanakan maka perlu dicari kuat tekannya. Uji kuat tekan bertujuan untuk menentukan kekuatan tekan beton berbentuk kubus dan silinder, untuk penelitian ini batako yang akan diuji berbentuk kubus. Kekuatan tekan beton adalah beban persatuan luas yang menyebabkan beton hancur, dimana pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat beton berumur 3, 7, 14, dan 28 hari.

Berikut merupakan prosedur pengujian kuat tekan beton (batako):

1. Siapkan benda uji yang akan ditentukan kekuatan tekanan.
2. Tentukan berat dan ukuran benda uji.
3. Letakkan benda uji pada mesin uji sesuai dengan tempat yang tepat pada mesin tes kuat tekan.
4. Jalankan benda uji atau mesin tekan dengan penambahan beban secara konstan.
5. Lakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.

2.2 Semen

Kata semen berasal dari bahasa latin “*cementum*” yang berarti bahan pengikat. Pengertian yang lebih luas adalah material plastis yang dapat memberikan sifat perekat diantara batu-batuan dalam kontruksi bangunan. semen yang biasanya digunakan untuk beton dinamakan semen *Portland* (PC). Semen *Portland* adalah tipe yang terbaik dari semen, dinamakan *Portland* karena ada persamaan dengan batuan alam di daerah *Portland* (Inggris).

Ada tiga komponen yang penting pada semen *Portland* yaitu kapur, silika, dan alumina. Untuk bahan campurannya berupa oksida besi, magnesium, belerang, dan juga sedikit alkali. Berikut Tabel 2.2 komponen dari semen *Portland*:

Tabel 2.2 Komponen Semen *Portland*

Komponen Semen <i>Portland</i>	
Komponen	Prosentase
Kapur	60 % – 67 %
Silika	17 % – 25 %
Alumina	3 % – 8 %
Besi	0,5 % – 6 %
Magnesium	0,1 % – 4 %
Aspal	1 % - 2,75 %
Alkali	0,5 % - 1 %

Sumber : (Cahya, 1984).

Jenis-jenis semen *Portland* menurut ASTM (*American Society for Testing and Materials*) adalah sebagai berikut:

1. Semen type I : untuk konstruksi biasa, dimana tidak diperlukan sifat khusus.
2. Semen type II : untuk konstruksi biasa, dimana diinginkan perlawanan terhadap sifat atau panas hidrasi sedang.
3. Semen type III : untuk konstruksi dimana diinginkan cepat mengeras dan kekuatan awal tinggi.
4. Semen type IV : untuk konstruksi dimana diinginkan panas hidrasi rendah.
5. Semen type V : untuk konstruksi dimana diinginkan daya tahan yang tinggi terhadap sulfat.

Untuk campuran beton pada umumnya semen *Portland* yang digunakan yaitu biasanya menggunakan semen *Portland* yang type I, dimana keunggulan dari semen *Portland* type I ini yaitu dapat meningkatkan kekuatan pada beton yang akan dibuat melalui reaksi kimia dengan air yang disebut dengan proses hidrasi.

2.3 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton (batako) agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Air untuk pembuatan dan perawatan batako tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, bahan-bahan organis atau bahan-bahan lain yang dapat merusak batako.

Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dan juga air maka dalam menentukan perbandingan antara air dengan semen haruslah sesuai dengan takaran. Pemberian air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan pemberian air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai yang menyebabkan hasil batakonya kurang kekuatannya.

2.4 Agregat

Agregat merupakan bahan-bahan pembentuk beton yang diikat oleh semen, biasanya agregat yang dipakai yaitu agregat kasar (kerikil) dan juga agregat halus (pasir). Untuk agregat halus pada umumnya ukuran yang dipakai yaitu $<4,75$ mm maka dapat dikatakan material tersebut disebut agregat halus atau pasir, material ini biasanya ditemukan di danau ataupun di sungai. Bila ukuran agregat $>4,74$ mm disebut agregat kasar (krikil) dengan ukuran maksimum bisa mencapai 200 mm, tetapi untuk pembuatan beton pada umumnya dibatasi sampai ukuran 40 mm (Cahya, 1984).

Dalam pembuatan beton, agregat biasanya memiliki takaran kurang lebih 60%-80% dari volume total beton yang akan dibuat, maka sifat-sifat agregat memiliki pengaruh yang besar terhadap perilaku beton yang sudah mengeras. Agregat merupakan komposisi yang sangat penting dalam pembuatan beton dikarenakan untuk menentukan seberapa berkualitasnya batako yang dihasilkan terutama pada kekuatan tekan yang terdapat pada batako yang akan dihasilkan.

2.5 Faktor Air Semen

Faktor air semen merupakan perbandingan volume campuran antara air dan semen, faktor air semen sendiri mempengaruhi dalam pembuatan beton dikarenakan jika air yang dipakai sedikit akan menghasilkan beton yang terlalu kental sehingga akan berdampak pada proses pemeliharaan dan proses pengerasannya. Faktor air semen harus dihitung sehingga campuran air dan semen menjadi adukan yang baik dalam

menghasilkan beton. Terkadang dalam pembuatan adukan beton yang cukup banyak faktor air semen tidak dihiraukan sehingga dengan penambahan air tanpa perhitungan maka adukan akan terlihat encer.

Untuk faktor air semen memiliki rasio tersendiri dalam pembuatan beton yaitu berkisar antara 0,4-0,7 yang akan menghasilkan campuran adukan cukup baik untuk dijadikan sebuah beton. Selain faktor air semen yang mempengaruhi kuat tekan pada beton, faktor lainnya yaitu antara lain lamanya umur proses pengerasan, jenis semen yang berkualitas, dan juga proses pemeliharaan beton selama proses pengerasan.

2.6 Fly Ash

Fly ash merupakan limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang terdiri dari partikel-partikel halus, *fly ash* yang merupakan sisa pembakaran dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap. Menurut SNI 03-6863-2002, *fly ash* adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar, dan bersifat pozzolan. Pozzolan sendiri merupakan bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina yang tidak memiliki sifat mengikat seperti semen akan tetapi dalam bentuknya yang halus dengan adanya air maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi sehingga akan bersifat mengikat.

Material ini memiliki ciri-ciri yaitu ukuran butiran yang halus dan juga berwarna keabu-abuan, banyak unsur kimia yang terkandung dalam *fly ash* dan pada Tabel 2.3 berikut ini merupakan unsur-unsur kimia yang terkandung dalam *fly ash*:

Tabel 2.3 Komposisi Kimia *Fly Ash*

Komposisi	Bituminous	Sub-bituminous	Lignite
SiO ₂	20-60%	40-60%	15-45%
AlO ₃	5-35%	20-30%	10-25%
Fe ₂ O ₃	10-40%	4-10%	4-15%
CaO	1-12%	5-30%	15-40%
MgO	0-5%	1-6%	3-10%
SO ₃	0-4%	0-2%	0-10%
Na ₂ O	0-4%	0-2%	0-6%
K ₂ O	0-3%	0-4%	0-4%
LOI	0-15%	0-3%	0-5%

Sumber : SNI 03-6863-2002

Menurut ASTM (*American Society for Testing and Materials*) *fly ash* dibagi menjadi dua jenis yaitu *fly ash* tipe F dan tipe C, yang membedakan antara kedua jenis

tersebut yaitu terletak pada jumlah banyaknya kalsium, silika, aluminium, dan kadar besi pada *fly ash* itu sendiri. Berikut merupakan jenis-jenis pada *fly ash*:

1. *Fly ash* tipe F: merupakan *fly ash* yang diproduksi dari pembakaran batu bara bituminous, memiliki sifat pozzolan dan untuk mendapatkan sifat *cementitious* harus diberi penambahan *quick lime*, *hydrated lime*, atau semen. Tipe ini memiliki kadar kapur yang rendah berkisar kurang dari 10% ($CAO < 10\%$).
2. *Fly ash* tipe C: diproduksi dari pembakaran batu bara lignite atau sub-bituminous yang juga memiliki sifat pozzolan dan juga memiliki sifat self-cementing (kemampuan untuk mengeras dan menambah *strength* apabila bereaksi dengan air). tipe ini memiliki kadar kapur lebih dari 20% ($CAO > 20\%$).

2.7 Kualitas

Kualitas memiliki banyak sekali definisi yang berbeda-beda yang disebabkan oleh karena pengertian kualitas dapat diterapkan diberbagai dimensi kehidupan. Definisi secara konvensional kualitas menggambarkan karakteristik langsung dari suatu produk seperti performansi kendala mudah dalam penggunaan estetika dan sebagainya. Sedangkan secara strategik menyatakan bahwa kualitas adalah segala sesuatu yang mampu memenuhi keinginan atau kebutuhan pelanggan. Selain itu pengertian kualitas tersebut juga muncul dari beberapa ahli yaitu (Soejanto, 2008):

1. Vincent Gasperz: “kualitas sebagai segala sesuatu yang dapat memuaskan pelanggan atau sesuai dengan persyaratan dan kebutuhan pelanggan. Selain itu didefinisikan juga bahwa kualitas sebagai konsistensi peningkatan dan penurunan variasi karakteristik produk, agar dapat memenuhi spesifikasi dan kebutuhan guna meningkatkan kepuasan pelanggan internal maupun eksternal”.
2. Perbendaharaan ISO8402 dan SNI 10-8402-1991: “kualitas adalah keseluruhan cirri dan karakteristik produk ataupun jasa yang kemampuannya dapat memuaskan kebutuhan, baik yang dinyatakan secara tegas maupun tersamar. Istilah kebutuhan diartikan sebagai spesifikasi yang tercantum dalam kontrak maupun criteria yang harus didefinisikan terlebih dahulu”.
3. Joseph M. Juran: “kualitas didefinisikan sebagai kecocokan untuk pemakaian yang mengandung pengertian bahwa suatu produk atau jasa harus dapat memenuhi apa yang diharapkan oleh para pemakainya”.
4. W. Edwards Deming: “adalah suatu tingkat yang dapat diprediksi dari keseragaman dan ketergantungan pada biaya yang rendah dan sesuai dengan pasar”.

5. Genichi Taguchi: “definisi kualitas menurut Taguchi ada dua segi umum tentang kualitas, yaitu kualitas rancangan dan kualitas kecocokan”.

2.8 Rekayasa Kualitas Taguchi

Rekayasa kualitas merupakan suatu proses dimana perbaikan kualitas secara terus-menerus dalam perancangan produk dan proses. Penggunaan *tools* yang tepat diharapkan untuk produk yang dihasilkan juga sesuai dengan harapan permintaan konsumen dan spesifikasi yang telah ditetapkan oleh produsen.

Secara umum rekayasa kualitas memiliki beberapa tujuan antara lain yaitu untuk mencapai target dari perbaikan secara terus-menerus, suatu penemuan yang dipercepat, penyelesaian masalah dilakukan dengan cepat, dan efektivitas biaya dalam meningkatkan kualitas produk. Menurut Taguchi ada dua jenis rekayasa kualitas, yaitu:

1. Rekayasa kualitas *off-line*: perancangan eksperimen merupakan peralatan yang sangat fundamental, dimana teknik ini mengidentifikasi sumber dari variasi dan menentukan perancangan pada proses yang optimal. Pengendalian kualitas secara *off-line* adalah usaha-usaha yang bertujuan mengoptimalkan desain proses dan produk. Usaha ini dilakukan sebelum ataupun setelah proses.
2. Rekayasa kualitas *on-line*: merupakan suatu aktivitas untuk mengamati dan mengendalikan kualitas pada setiap proses produksi secara langsung. Aktivitas ini sangat penting dikarenakan dapat menjaga biaya produksi tetap rendah dengan peningkatan kualitas produk. Rekayasa kualitas secara *on-line* dapat pula mengontrol mesin-mesin produksi sehingga dapat mencegah terjadinya kerusakan pada mesin-mesin tersebut. Secara umum rekayasa kualitas *on-line* adalah usaha-usaha yang tergolong dari pengdiagnosaan dan penyesuaian proses, pengontrolan proses, dan inspeksi hasil proses. Usaha ini berlangsung saat proses produksi sedang berjalan.

2.8.1 Metode Taguchi

Metode Taguchi pertama kali dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949 saat mendapatkan tugas untuk memperbaiki sistem komunikasi di Jepang. Dr. Genichi Taguchi memiliki latar belakang *engineering* juga mendalami ilmu statistik dan matematika tingkat lanjut, sehingga beliau dapat menggabungkan antara teknik statistik dan pengetahuan *engineering*. Beliau mengembangkan metode Taguchi untuk melakukan perbaikan kualitas dengan metode percobaan baru, artinya melakukan

pendekatan lain yang memberikan tingkat kepercayaan yang sama dengan SPC (*Statistical Process Control*). Taguchi memiliki pandangan yang berbeda mengenai kualitas, beliau tidak hanya menghubungkan biaya dan kerugian dari suatu produk saat proses pembuatan produk tersebut, akan tetapi juga dihubungkan pada konsumen serta masyarakat. Menurut Taguchi kualitas adalah kerugian setelah produk digunakan oleh masyarakat disamping kerugian yang disebabkan oleh mutu produk itu sendiri (Soejanto, 2008).

Taguchi menghasilkan disiplin dan struktur dari desain eksperimen, hasilnya adalah standarisasi metodologi desain yang mudah diterapkan oleh investigator. Metode ini merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk *robust* terhadap *noise*, karena itu sering disebut *Robust Design*. Metode Taguchi merupakan *off-line quality control*, artinya pengendalian kualitas yang preventif untuk desain produk atau proses sebelum sampai pada tingkat *shop floor* dan juga dilakukan pada saat awal dalam *life cycle product* yaitu perbaikan pada awal untuk menghasilkan produk.

Menurut Soejanto (2008) filosofi Taguchi terhadap kualitas terdiri dari empat buah konsep, yaitu:

1. Kualitas seharusnya didesain pada produk mulai dari awal proses tidak hanya dengan proses inspeksi yang biasa disebut *off-line strategy*, karena kualitas produk tidak bisa dikembalikan dengan berapapun jumlah inspeksi yang dilakukan akan tetapi konsep kualitas seharusnya dikembangkan sebagai filosofi “persiapan”.
2. Kualitas yang maksimal dapat dicapai dengan meminimasi deviasi dari target, bukan dari kesalahan untuk menguatkan spesifikasinya. Produk seharusnya didesain sehingga tahan terhadap faktor-faktor lingkungan yang tidak terkontrol seperti *noise*, temperatur, kelembaban, dan juga yang lainnya. Dengan mengkhhususkan pada target parameter kritis dan menjamin proses manufaktur mencapai nilai target dengan sedikit deviasi maka kualitas produk semakain tinggi.
3. Kualitas tidak hanya didasarkan pada karakteristik produk. Kenampakan produk hanya memvariasikan harga dan kesan di pasaran. Karakteristik produk dapat dihubungkan dengan kualitas tetapi bukan merupakan dasar kualitas dan itu merupakan ukuran kapabilitas sebuah produk.
4. Biaya kualitas seharusnya diukur sebagai fungsi dari variasi *performance* produk. Dari parameter desain yang diberikan, deviasi target diukur sebagai istilah dari

siklus hidup biaya produk. Hal ini termasuk biaya pengerjaan kembali, inspeksi, *warranty servicing*, dan pergantian produk.

Pada metode Taguchi yang merupakan *off-line quality control* memiliki tiga tahapan penting dalam perancangan proses (Soejanto, 2008), antara lain:

1. *System Design (Primary Design)*

Tahap ini adalah tahap yang berkaitan dengan pengembangan teknologi. Tahap ini memerlukan pengetahuan teknis yang luas dan mendalam untuk memulai pengembangan produk ataupun proses.

2. *Parameter Design (Secondary Design)*

Desain parameter sangat penting dalam upaya meningkatkan keseragaman produk atau dapat mencegah tingginya variabilitas. Pada tahap ini parameter-parameter dari proses tertentu ditetapkan untuk menghasilkan performansi produk menjadi kurang terhadap penyebab terjadinya variabilitas. Dengan kata lain pada tahapan ini menentukan tingkatan level dari faktor-faktor yang berpengaruh pada produk.

3. *Tolerance Design (Tertiary Design)*

Pada tahapan ini kualitas ditingkatkan dengan mengetatkan toleransi pada parameter produk untuk mengurangi terjadinya variabilitas pada performansi produk. Tahap ini juga berkaitan dengan pengendalian faktor-faktor yang memengaruhi nilai target dengan menggunakan komponen mutu tinggi dan biaya tinggi yang tidak dapat dihindari.

Metode Taguchi memiliki beberapa langkah-langkah yang harus diikuti serta diperhatikan yang dimana menunjang akan keberhasilan eksperimen yang akan dilakukan. Berikut ini langkah-langkah desain eksperimen Taguchi:

1. Menyatakan permasalahan yang akan dipecahkan

Yaitu mendefinisikan permasalahan yang akan dihadapi dengan se jelas mungkin agar dapat dilakukan suatu upaya perbaikan dari masalah yang dihadapi.

2. Menentukan tujuan penelitian

Untuk menentukan tujuan penelitian diperlukan mengidentifikasi karakteristik kualitas serta tingkat performansi dari suatu eksperimen.

3. Menentukan metode pengukuran

Menentukan bagaimanakah parameter-parameter yang akan diamati, bagaimana cara pengukurannya, dan peralatan apa sajakah yang diperlukan dalam eksperimen.

4. Identifikasi faktor

Untuk identifikasi faktor yaitu melakukan pendekatan yang sistematis dengan tujuan menemukan suatu penyebab permasalahan yang dihadapi.

5. Memisahkan faktor *control* dan faktor *noise*

Untuk memulai melakukan dalam desain eksperimen Taguchi, seharusnya mengetahui faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi produk. Taguchi sendiri membagi faktor-faktor berpengaruh menjadi dua yaitu faktor *control* dan faktor *noise*.

6. Menentukan level dari faktor dan nilai faktor

Dalam penentuan level dari faktor menentukan jumlah derajat kebebasan yang akan digunakan sebagai pemilihan *Orthogonal Array* yang akan digunakan dalam eksperimen.

7. Mengidentifikasi faktor yang mungkin berinteraksi

Suatu interaksi terjadi apabila pengaruh dari suatu faktor tergantung dari level faktor yang lainnya.

8. Menggambar *linier graf* yang diperlukan untuk faktor *control* dan interaksi

Menentukan penempatan faktor-faktor serta interaksi yang mungkin digunakan pada kolom-kolom dalam *Orthogonal Array*. Taguchi sudah menentukan *linier graf* yang digunakan untuk mempermudah pengaturan faktor-faktor dari interaksi.

9. Pemilihan *Orthogonal Array*

Dalam pemilihan *Orthogonal Array* yang sesuai tergantung dari nilai faktor dan interaksi yang diharapkan dan nilai level dari tiap faktor. Untuk pemilihan ini menentukan jumlah derajat kebebasan yang berguna untuk menentukan *Orthogonal Array* mana yang akan dipakai pada eksperimen.

10. Memasukkan faktor dan atau interaksi ke dalam kolom

Untuk memasukkan faktor dalam kolom Taguchi menyediakan dua alat bantu yaitu dapat menggunakan *linier graf* atau *triangular tables*.

11. Melakukan eksperimen

Dalam melakukan eksperimen, sejumlah percobaan akan disusun untuk meminimasi kesalahan yang mungkin terjadipada penyusunan level yang tepat untuk eksperimen.

12. Analisa hasil eksperimen

Menganalisa hasil eksperimen yang telah dilakukan Taguchi menggunakan ANOVA, yaitu perhitungan jumlah kuadrat total, jumlah kuadrat rata-rata, jumlah

kuadrat faktor, dan jumlah kuadrat error. Ada beberapa hal yang dilakukan pada tahapan ini, yaitu:

a. *Pooling* faktor

Metode yang dilakukan apabila faktor yang diamati tidak signifikan secara statistik setelah pengujian signifikansi.

b. Persen kontribusi

Bagian dari total variasi yang diamati pada eksperimen dari masing-masing faktor yang signifikan pada metode Taguchi dinyatakan dalam persen kontribusi. Menandakan kekuatan relative dari suatu faktor untuk mereduksi variasi.

c. *Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)*

Taguchi memperkenalkan pendekatan S/N untuk meneliti pengaruh faktor *noise* terhadap variasi yang timbul. Terdapat tiga jenis S/N menurut Taguchi yaitu *larger the better*, *nominal the better*, dan *smaller the better*.

13. Pemilihan level faktor untuk kondisi optimal

Jika eksperimen terdiri dari beberapa faktor dan juga tiap-tiap faktor terdiri dari beberapa level faktor, maka pemilihan kombinasi level yang optimal adalah dengan membandingkan nilai perbedaan rata-rata eksperimen dari level yang ada.

14. Perkiraan rata-rata pada kondisi optimal

Setelah mendapatkan kondisi yang optimal dari eksperimen dengan *Orthogonal Array* maka dapat diperkirakan rata-rata proses untuk prediksi kondisi yang optimal. Hal ini dilakukan untuk mengetahui jumlah pengaruh dari ranking faktor yang lebih tinggi.

15. Menjalankan eksperimen konfirmasi

Dimaksudkan agar faktor dan level yang diinginkan memberikan hasil yang diharapkan.

2.8.2 *Orthogonal Array*

Orthogonal Array adalah suatu matriks yang elemen-elemennya disusun melalui baris dan kolom. Kolom merupakan faktor atau kondisi yang dapat diubah dalam eksperimen, sedangkan baris merupakan bentuk matrik khusus dengan tujuan agar dapat dilakukan pengujian terhadap pengaruh beberapa parameter secara efisien dan merupakan teknik penting dalam perancangan kokoh.

Dalam melakukan metodologi rekayasa kualitas, penentuan *Orthogonal Array* sangat penting sekali dan merupakan hal yang tidak dapat diabaikan. *Orthogonal Array* merupakan suatu matrik pemetaan dari level-level tiap-tiap faktor untuk mempermudah dalam melakukan eksperimen. Maka diperlukan prosedur yang menunjang dalam penggunaannya, yaitu:

1. Definisikan jumlah faktor dan levelnya

Dalam tahap ini suatu peneliti melakukan pengamatan terhadap parameter-parameter yang terdapat pada suatu proses produksi atau suatu mesin proses produksi. Dari parameter-parameter yang telah ditentukan maka dapat dicari level-level yang mempengaruhi faktor yang telah ditentukan sebelumnya, dengan itu membuat eksperimen lebih mudah dilakukan.

2. Menentukan derajat kebebasan (*degree of freedom*)

Derajat kebebasan adalah sebuah konsep yang mendiskripsikan seberapa besar eksperimen yang mesti dilakukan dan seberapa banyak informasi yang didapatkan dari eksperimen tersebut. Derajat kebebasan dalam *Orthogonal Array* (V_{OA}) memiliki nilai jumlah eksperimen dikurangi dengan satu (1) dan didapatkan notasi sebagai berikut:

$$V_{OA} = \text{jumlah eksperimen} - 1$$

$$V_{fi} = \text{jumlah faktor} * (\text{jumlah level} - 1)$$

$$V_{OA} \geq V_{fi} \quad (2-1)$$

3. Memilih *Orthogonal Array*

Dalam memilih *Orthogonal Array* yang sesuai diperlukan persamaan dari *Orthogonal Array* itu sendiri yang dimana memaparkan akan jumlah faktor, level faktor, dan banyaknya jumlah pengamatan yang diperlukan dalam sebuah eksperimen. Bentuk secara umum dari model *Orthogonal Array* sebagai berikut:

$$L_a (b^c) \quad (2-2)$$

(Soejanto, 2008)

Dimana:

L = latin square

a = banyak eksperimen

b = banyak level

c = banyak faktor

Taguchi telah menyediakan beberapa matrik *Orthogonal Array* sesuai dengan kebutuhan eksperimen yang akan dilakukan. Pada Tabel 2.4 berikut ini merupakan bentuk standar *Orthogonal Array* dari Taguchi dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 2.4 Tabel *Orthogonal Array*

2 level	3 level	4 level	5 level	Level Gabungan
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{23}(5^6)$	$L_{18}(2^1 \times 3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$	-	$L_{32}(2^1 \times 4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$	-	-	$L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$	-	-	-	$L_{36}(2^3 \times 3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$	-	-	-	$L_{54}(2^1 \times 3^{25})$

Sumber: (Soejanto, 2008)

2.8.3 Klasifikasi Karakteristik Kualitas

Karakteristik kualitas adalah obyek yang menarik dari produk atau proses. Sebagai contoh keausan alat, keausan ban, kekuatan las, daya mesin, dan lain sebagainya. Karakteristik kualitas dapat dikelompokkan menurut nilai targetnya yang sebagai berikut:

1. *Nominal the best.*
2. *Smaller the better.*
3. *Large the better.*
4. *Signed target.*
5. *Classified attribute.*

Pada Tabel 2.5 berikut ini menjelaskan klasifikasi karakteristik kualitas

Tabel 2.5 Klasifikasi Karakteristik Kualitas

Karakteristik	Target	Contoh
<i>Nominal the best</i>	Terpusat pada nilai tertentu	Voltage TV
<i>Smaller the better</i>	Sekecil mungkin (nol)	Keausan alat
<i>Large the better</i>	Sebesar mungkin (~)	Kekuatan las
<i>Signed target</i>	Nol	Residual carrant
<i>Classified attribute</i>	-	Rendah, menengah, tinggi

Sumber: (Soejanto, 2008)

2.8.4 Klasifikasi Parameter (Faktor)

Dalam eksperimen banyak faktor-faktor lainnya yang mempengaruhi karakteristik kualitas pada produk yang akan dihasilkan nantinya. Beberapa faktor yang mempengaruhi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Faktor *noise*

Merupakan suatu parameter yang menyebabkan penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai targetnya disebut faktor *noise*. Faktor *noise* dapat mempengaruhi karakteristik kualitas secara tidak terkendali dan sulit diprediksi. Faktor *noise* biasanya sulit, mahal, dan tidak menjadi sasaran pengendalian akan tetapi untuk tujuan eksperimen, faktor *noise* perlu dikendalikan dalam skala yang kecil.

2. Faktor kontrol

Merupakan parameter-parameter yang nilainya ditentukan oleh ahli teknik, faktor ini memiliki nilai satu atau lebih yang disebut level. Pada akhir suatu eksperimen, level yang sesuai dalam faktor kontrol akan dipilih. Salah satu aspek dari perancangan kokoh adalah mencari kondisi level optimal untuk faktor kontrol sehingga karakteristik kualitas tidak sensitif terhadap *noise*.

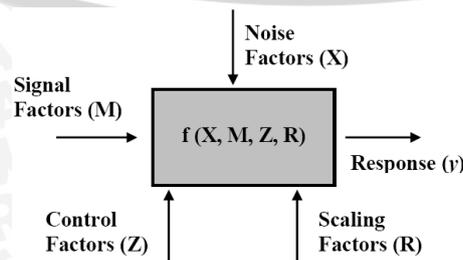
3. Faktor *signal*

Merupakan faktor yang merubah nilai-nilai karakteristik kualitas yang akan diukur. Karakteristik kualitas dalam perancangan eksperimen dimana faktor *signal* memiliki nilai konstan (dalam hal ini tidak dimasukkan sebagai faktor) disebut karakteristik statis. Jika faktor *signal* dapat mengambil banyak nilai, maka karakteristik memiliki sifat dinamis. Faktor *signal* tidak ditentukan oleh ahli teknik, tetapi oleh konsumen berdasarkan hasil yang diinginkan.

4. Faktor skala

Merupakan faktor yang digunakan untuk mengubah rata-rata level karakteristik kualitas guna mencapai hubungan fungsional yang diperlukan antara faktor *signal* dengan karakteristik kualitas.

Pada Gambar 2.3 merupakan klasifikasi parameter yang terdapat di metode Taguchi



Gambar 2.3 Klasifikasi Parameter

Dalam penentuan faktor-faktor yang berpengaruh pada suatu eksperimen beserta *setting* level maka ada beberapa hal yang perlu untuk dipertimbangkan, antara lain:

1. Level faktor

Merupakan jumlah level atau atribut yang diberikan oleh faktor-faktor yang berpengaruh dalam suatu eksperimen, baik faktor yang terkendali, faktor *noise*, faktor *signal*, dan faktor skala.

2. Banyak level dari faktor

Jumlah level dan *setting* level yang dipilih tergantung pada sejauh mana kita mengetahui proses atau produk yang akan diteliti.

3. Jarak level dari faktor

Semakin luas jarak yang digunakan dalam suatu eksperimen, maka kemungkinan ditemukannya efek dari faktor yang ada dalam penentuan karakteristik kualitas akan semakin baik.

4. Feasibilitas dari level

Dalam pemilihan suatu level untuk setiap faktornya perlu mempertimbangkan apakah level yang akan dipilih memungkinkan atau dapat dijalankan dalam membuat kombinasi eksperimen

2.8.5 Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to noise ratio (SNR) digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi variasi suatu respon. Secara umum Taguchi mengembangkan konsep *signal to noise ratio* digunakan untuk suatu eksperimen yang melibatkan banyak faktor, eksperimen yang demikian dinamakan eksperimen faktor ganda. Konsep ini diformulasikan oleh Taguchi dengan sedemikian rupa sehingga seorang peneliti selalu dapat memilih nilai level faktor terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari suatu eksperimen. Dengan kata lain metode perhitungannya tergantung pada karakteristik kualitas. Berikut ini merupakan karakteristik yang ada pada *signal to noise ratio* (Soejanto, 2008):

1. *Smaller the better*

Merupakan karakteristik yang dimana nilai yang dituju adalah suatu nilai terkecil, artinya semakin kecil nilai yang dituju semakin baik. Nilai SNR untuk *smaller the better* yaitu:

$$SNR = 10 \log_{10} \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right| \quad (2-3)$$

2. *Nominal the best*

Merupakan karakteristik kualitas dengan nilai target positif ataupun negative, yaitu mendapat nilai 0 sampai ∞ . Dalam masalah ini jika nilai *mean* menjadi nol maka nilai ragam juga nol. Nilai SNR untuk *nominal the best* yaitu:

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= -10 \log_{10} \frac{\mu^2}{\sigma^2} \\ \mu &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sigma &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \end{aligned} \tag{2-4}$$

3. *Larger the better*

Karakteristik kualitas yang bersifat kontinu, non negatif, dan dapat mengambil nilai dari nol sampai ∞ . Nilai targetnya yaitu tidak nol dengan idealnya sebesar mungkin. Nilai SNR untuk *larger the better* yaitu:

$$\text{SNR} = -10 \log_{10} \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right| \tag{2-5}$$

4. *Signed target*

Karakteristik kualitas dapat bernilai positif ataupun negative dengan nilai target untuk karakteristik kualitas bernilai nol. Jika tidak, nilai target dapat dibuat nol dengan memilih nilai referensi yang sesuai untuk karakteristik kualitas. Nilai SNR untuk *signed target* yaitu:

$$\text{SNR} = -10 \log_{10} \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \right| \tag{2-6}$$

5. *Fraction defective*

Memiliki karakteristik kualitas yang sebanding dengan dinyatakan dalam bentuk nilai pecahan anatar 0 sampai 1. Nilai SNR untuk *fraction defective* yaitu:

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= -10 \log_{10} \left| \frac{i}{p} - 1 \right| \\ \text{Dengan, } p &= \text{nilai kecacatan produk.} \end{aligned} \tag{2-7}$$

2.8.6 Analysis of Variance (ANOVA)

Analisis variansi merupakan suatu metode pengambilan keputusan berdasarkan informasi statistik untuk mengetahui perbedaan hasil dari suatu perlakuan. Analisis variansi membagi variansi menjadi sumber-sumber variansi dengan mempertimbangkan derajat kebebasan sumber-sumber variansi tersebut dalam eksperimen. Dengan kata lain anova adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. Metode

Taguchi adalah untuk mencari faktor-faktor yang mempengaruhi performansi nilai respon. Data-data yang diambil baik data kondisi sebenarnya atau data hasil eksperimen dalam *robust design* dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu:

1. Variabel, yaitu data yang dapat dipertanggung jawabkan selama pengukuran dalam skala yang kontinyu.
2. Atribut, yaitu data dari eksperimen yang mempunyai karakteristik, bukan kontinyu tetapi dapat diklasifikasikan dalam skala diskrit.
3. Digital, yaitu suatu data yang memiliki nilai 0 dan 1.

Dalam perhitungan analisis variansi metode Taguchi langkah-langkah pengejaannya adalah sebagai berikut:

1. Menghitung rata-rata respon setiap eksperimen dengan rumus sebagai berikut:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \tag{2-8}$$

2. Menghitung rata-rata total seluruh eksperimen dengan rumus sebagai berikut:

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} \tag{2-9}$$

3. Membuat tabel respon, perbedaan dapat diketahui dengan cara melakukan pengurangan nilai tertinggi dengan nilai terendah dari setiap-setiap level kemudian dirangking dari nilai tertinggi sampai nilai terendah kemudian dimasukkan dalam Tabel 2.6 seperti di dibawah ini.

Tabel 2.6 Contoh Tabel Respon

	Faktor A	Faktor B	Faktor X
Level 1
Level 2
.....				
Level n
Different
	Faktor A	Faktor B	Faktor X
Rank

Sumber : (Soejanto, 2008)

4. Menghitung *the total sum of squares* dengan rumus sebagai berikut:

$$ST = \sum y^2 \tag{2-10}$$

5. Menghitung *the sum of squares due to the mean* dengan rumus sebagai berikut:

$$Sm = n\bar{y}^2 \tag{2-11}$$

6. Menghitung *the sum of squares due to the factors* dengan rumus sebagai berikut:

$$S_i = (n_{i1} * \bar{i1}^2 + n_{i2} * \bar{i2}^2 + \dots + n_{ij} * ij^2) - Sm \tag{2-12}$$

7. Menghitung *the sum of squares due to the error* dengan rumus sebagai berikut:



$$Se = ST - Sm - (SA + SB + \dots + Si) \quad (2-13)$$

8. Menghitung *the mean sum of squares* dengan rumus sebagai berikut:

$$Mq_i = \frac{Sq_i}{v_i} \quad (2-14)$$

9. Menghitung *F-ratio* dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Fi = \frac{Mq_i}{Se} \quad (2-15)$$

10. Menghitung *pure sum of squares* dengan rumus sebagai berikut:

$$Si' = Si - (vi * Ve) \quad (2-16)$$

11. Menghitung *percent contribution* dengan rumus sebagai berikut:

$$pi = \frac{Si'}{St} * 100\% \quad (2-17)$$

12. Membuat tabel analisis variansi hasil perhitungan.

2.8.7 Interval Kepercayaan

Interval kepercayaan merupakan nilai maksimum dan minimum dimana diharapkan nilai rata-rata sebenarnya akan tercakup dengan beberapa persentase kepercayaan tertentu. Untuk interval kepercayaan dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

1. Interval kepercayaan untuk level faktor

Perhitungan interval kepercayaan untuk level faktor didapatkan dengan rumus sebagai berikut:

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} * Ve * \frac{1}{n}} \quad (2-18)$$

Sehingga interval kepercayaan untuk masing-masing level faktor dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\bar{A}1 - CI \leq \mu \bar{A}1 \leq \bar{A}1 + CI \quad (2-19)$$

Dimana, $\bar{A}1$ = faktor ke-x dan factor ke-y

2. Interval untuk perkiraan rata-rata

Perhitungan interval kepercayaan untuk perkiraan rata-rata proses optimum adalah sebagai berikut:

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} * Ve * \frac{1}{n_{eff}}} \quad (2-20)$$

$$n_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{\text{jumlah derajat kebebasan dalam perkiraan rata-rata}} \quad (2-21)$$

3. Interval kepercayaan untuk percobaan konfirmasi

Untuk interval kepercayaan untuk percobaan konfirmasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, v_1, v_2} * Ve * \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r}\right)} \tag{2-22}$$

Sehingga interval kepercayaan yang diperoleh sebagai berikut:

$$\mu_{konfirmasi} - CI \leq \mu_{konfirmasi} \leq \mu_{konfirmasi} + CI \tag{2-23}$$

2.8.8 Percobaan Konfirmasi

Percobaan konfirmasi dilaksanakan dengan melakukan suatu pengujian yang menggunakan kombinasi tertentu dari faktor-faktor dan level-level hasil evaluasi sebelumnya. Untuk ukuran *sampel* pada percobaan konfirmasi ini lebih besar dari pada ukuran *sampel* dari percobaan sebelumnya. Tujuan dari percobaan konfirmasi adalah untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diperoleh selama tahap analisa, yang dijelaskan pada Tabel 2.7 berikut ini:

Tabel 2.7 Perbandingan Interval Kepercayaan Untuk Kondisi Optimal dan Eksperimen Metode Taguci

Kondisi	perbandingan	Keterangan	Keputusan
A		Optimal	Diterima
		Konfirmasi	
B		Optimal	Diterima
		Konfirmasi	
C		Optimal	Ditolak
		Konfirmasi	

Sumber: (Soejanto, 2008)

2.9 Penelitian Terdahulu

Sebagai referensi untuk penelitian ini, ada beberapa penelitian terdahulu yang sebelumnya telah dilakukan. Berikut beberapa penelitian tersebut:

1. Geri Ramdhan Dazali (2007), dalam skripsinya yang berjudul “Pengaruh Penggunaan Lumpur Lapindo Brantas Dalam Campuran Mortar Terhadap Nilai Kuat Tekan Batako”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan pada batako dengan bahan campuran lumpur Lapindo. Lumpur yang digunakan dimbil dari desa Siring dalam keadaan jenuh dan tidak bertemperatur tinggi dengan keadaan lumpur untuk pengujian yaitu setelah dikeringkan di bawah sinar matahari. Perbandingan campuran batako yang digunakan 1:5 kapur dan *trass*, dengan enam variasi komposisi *trass* dan lumpur Lapindo yaitu 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Presentase penambahan tersebut dihitung dari berat total bahan benda uji, sedangkan untuk kapur jumlahnya tetap. Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan yang nyata antara variasi komposisi lumpur Lapindo dengan kuat tekan

batako. Secara keseluruhan batako dengan penambahan lumpur Lapindo nilai kuat tekannya mengalami penurunan bila dibandingkan dengan batako tanpa lumpur Lapindo.

- Ika Pravitasari (2009), dalam skripsinya yang berjudul “Pengaruh Penggunaan *Bottom Ash* (Kerak) Limbah Pembakaran Batubara Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Batako Terhadap Kuat Tekan Batako”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan batako pada *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus dengan berbagai variasi komposisi. Dalam penelitian tersebut menggunakan *bottom ash* sebagai bahan pengganti agregat halus dengan berbagai komposisi yaitu 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100%. Untuk masing-masing perlakuan dibuat 5 benda uji yang diproses dalam kurun waktu 28 hari. Benda uji tersebut setelah berumur 28 hari akan diukur kuat tekannya kemudian dicatat besar beban yang bisa ditahan oleh batako, yang kemudian akan dihitung besarnya kuat tekan rata-rata batako untuk setiap masing-masing perlakuan. Hasil penelitian didapatkan bahwa *bottom ash* secara keseluruhan menurunkan nilai kuat tekan pada batako tetapi nilai kuat tekan batako rata-rata yang dihasilkan masih memenuhi standar minimum yang digunakan.

Dari kedua penelitian diatas yang akan menjadi acuan dasar perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian-penelitian terdahulu, dapat ditunjukkan melalui Tabel 2.8 sebagai berikut:

Tabel 2.8 Perbandingan Penelitian

Peneliti	Teknik Analisis			Objek Batako	Parameter		Judul Penelitian
	Regresi	Anova	SNR		Kuat Tekan (Mpa)	Berat Batako	
Dazali (2007)	✓	-	-	✓	✓	✓	Pengaruh Penggunaan Lumpur Lapindo Brantas Dalam Campuran Mortar Terhadap Nilai Kuat Tekan Batako
Pravitasari (2009)	✓	-	-	✓	✓	✓	Pengaruh Penggunaan <i>Bottom Ash</i> (Kerak) Limbah Pembakaran Batubara Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Batako Terhadap Kuat Tekan Batako
Penelitian ini	-	✓	✓	✓	✓	-	Analisa Desain Eksperimen Pembuatan Batako Bahan Alternatif Lumpur Lapindo dan Campuran <i>Fly Ash</i> dengan Metode Taguchi

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan tahapan suatu penelitian sebelum suatu permasalahan masalah dipecahkan dengan melakukan analisis terhadap permasalahan masalah yang akan dibahas. Dalam bab metodologi penelitian ini meliputi tipe penelitian, tempat dan waktu penelitian, tahap pendahuluan, sumber data, alat dan bahan, produk eksperimen, metode pengambilan sampel, rancangan eksperimen, rencana penelitian, dan diagram alir penelitian.

3.1 Tipe Penelitian

Metode merupakan suatu cara pengaturan atau pemeriksaan sesuatu secara benar, maka dalam riset perlu adanya metode-metode. Menurut Umar (2008) ada tiga macam tipe penelitian atau tipe riset yaitu sejarah, deskriptif, eksperimen, dan *ex-post facto* (kausal). Dalam penelitian ini menggunakan tipe penelitian metode eksperimen/*true experimental research*.

Tipe penelitian eksperimen merupakan langkah-langkah lengkap yang diambil sebelum eksperimen dilakukan agar data yang semestinya diperlukan dapat diperoleh, sehingga analisis akan menjadi objektif. Variabel bebas dijadikan sebagai variabel eksperimen, yaitu variabel penyebab yang karakteristiknya diyakini dapat menghasilkan perbedaan, sedangkan variabel terikat merupakan hasil dari suatu penelitian (Umar, 2008).

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Berikut merupakan tempat penelitian dan waktu penelitian yang dilakukan:

1. Tempat penelitian, tempat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
2. Waktu penelitian, waktu dalam penelitian ini dilakukan pada Bulan Agustus 2012 sampai dengan Bulan Maret 2013.

3.3 Tahap Pendahuluan

Pada tahap pendahuluan berisi tentang pendahuluan suatu penelitian yang menunjang jalannya penelitian tersebut. Dalam penelitian ini tahap pendahuluan

meliputi studi pustaka, studi lapangan, perumusan masalah, dan tujuan penelitian. Berikut tahap pendahuluan pada penelitian ini:

1. Studi Pustaka

Suatu langkah yang dilakukan oleh seorang peneliti untuk menghimpun informasi yang relevan dengan topik atau masalah yang akan atau sedang diteliti.

2. Studi Lapangan

Merupakan desain penelitian yang mengkombinasikan antara pencarian literatur, survei berdasarkan pengalaman, dan studi kasus yang dilakukan secara langsung pada obyek penelitian yang akan atau sedang diteliti. Adapun cara pengumpulan data pada studi lapangan ini yaitu:

- a. Observasi, teknik pengumpulan data dengan cara mengamati secara langsung obyek yang diteliti, dalam hal ini mengamati secara langsung batako yang akan diteliti.
- b. Interview, teknik pengumpulan data dengan cara mengadakan wawancara secara langsung kepada orang-orang yang berpengalaman dalam proses pembuatan batako.
- c. Dokumentasi, teknik pengumpulan data dengan cara mengambil gambar-gambar yang diperlukan pada proses pembuatan batako.
- d. Eksperimen, teknik pengambilan data dengan cara melaksanakan eksperimen atau percobaan secara langsung pada obyek yang diteliti (batako).

3. Perumusan Masalah

Setelah mengidentifikasi masalah dengan seksama, tahap selanjutnya adalah merumuskan masalah sesuai dengan kenyataan di lapangan. Perumusan masalah merupakan rincian dari permasalahan yang dikaji dan nantinya akan menunjukkan tujuan dari penelitian ini.

4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ditentukan berdasarkan perumusan masalah yang telah dijabarkan sebelumnya. Hal ini untuk menentukan batasan-batasan yang perlu dalam pengolahan dan analisis hasil pengukuran selanjutnya.

3.4 Sumber Data

Untuk pengambilan data terdapat dua jenis data yang dapat dipergunakan dalam suatu penelitian, yaitu:

1. Data Primer

Merupakan sumber data yang diperoleh langsung dari sumber asli (tidak melalui media perantara). Untuk penelitian ini memiliki beberapa data primer antara lain data komposisi bahan pembuatan batako, data kuat tekan batako hasil eksperimen, dan data-data lainnya yang mendukung dalam penelitian ini.

2. Data Sekunder

Merupakan sumber data penelitian yang diperoleh peneliti secara tidak langsung melalui perantara (diperoleh dan dicatat oleh pihak yang lain). Data sekunder dalam penelitian ini yaitu hasil dari penelitian sebelumnya.

3.5 Desain Penelitian

Berikut ini merupakan desain penelitian pada penelitian ini.

3.5.1 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini memerlukan alat-alat dan bahan-bahan yang mendukung berjalannya eksperimen penelitian ini, yaitu:

1. Alat

Alat-alat yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Ayakan pasir, untuk mengayak pasir.
- b. Cetakan untuk pembuatan batako tipe E berukuran $10 \times 20 \times 40 \text{ cm}^3$.
- c. Sendok semen, untuk mengaduk adonan.
- d. Timbangan, untuk mengukur komposisi bahan-bahan yang digunakan.
- e. *Compression machine*, untuk uji kuat tekan (Mpa).

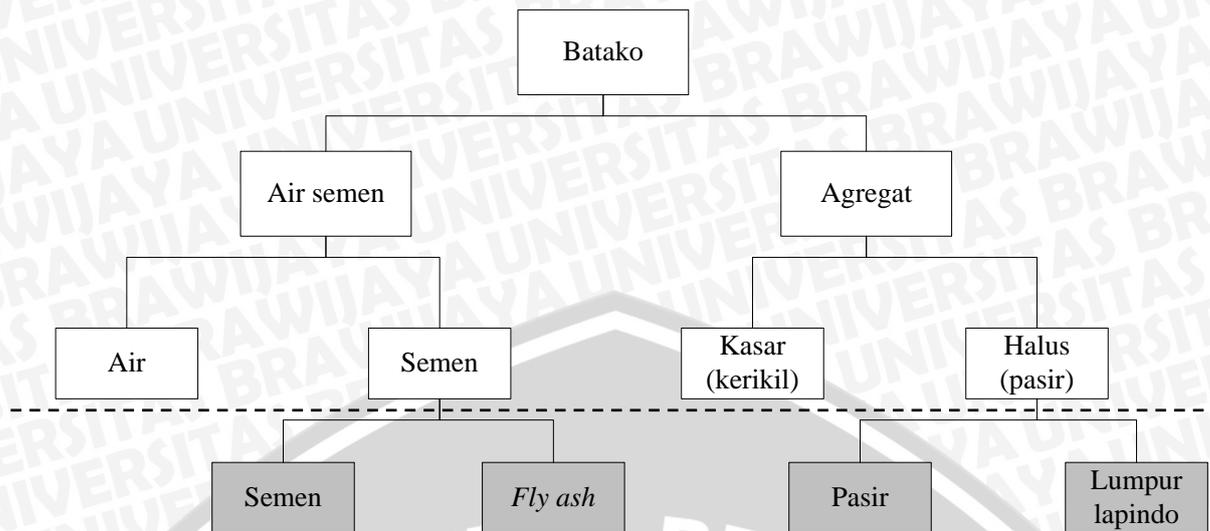
2. Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Semen *Portland*, bahan perekat dalam pembuatan batako.
- b. Air, untuk hidrasi antara semen dan agregat, pelicin adonan batako, serta perawatan batako selama pemeliharaan (pengerasan).
- c. Agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir), agregat halus lumpur lapindo.
- d. *Fly ash*, bahan campuran pembuatan batako.

3.5.2 Produk Eksperimen

Dalam penelitian ini produk eksperimen yang dihasilkan seperti pada Gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1 Produk Eksperimen

Secara umum pembuatan batako terdiri dari perpaduan faktor air semen dan campuran agregat (agregat kasar dan agregat halus). Sedangkan dalam penelitian ini batako yang akan dibuat juga sama seperti pembuatan batako secara umum, akan tetapi adanya penambahan *fly ash* yang diberikan pada semen dan juga penambahan agregat halus (pasir) dari lumpur Lapindo.

3.5.3 Metode Pengambilan Sampel

Dalam penelitian ini metode yang dipakai yaitu metode ekperimental, penelitian ini dimaksudkan untuk menguji kuat tekan batako hasil eksperimen dengan bahan alternatif lumpur lapindo dan juga bahan campuran tambahan *fly ash*.

Untuk banyaknya sampel batako dengan eksperimen Taguchi mengacu pada rancangan eksperimen Taguchi dalam penelitian ini. Uji kuat tekan yang dilakukan nantinya dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya dengan menggunakan alat *compression machine*.

3.5.4 Rancangan Eksperimen

Penelitian ini merupakan penelitian dengan metode ekperimental yang memiliki tujuan yaitu untuk pengembangan suatu produk (batako) dengan dibuat dari bahan-bahan yang dianggap sebagai limbah bagi lingkungan sekitarnya (lumpur lapindo dan *fly ash*). Rancangan eksperimen yang digunakan yaitu menggunakan matriks *Orthogonal Array* yang terdapat dalam metode Taguchi. Matriks *Orthogonal Array* didasarkan pada derajat bebas, faktor, dan juga level faktor yang akan diteliti. Dengan

mempertimbangkan biaya serta waktu penelitian maka pada penelitian ini menggunakan *Orthogonal Array* L9 (3^4) dengan empat faktor, tiga level, sembilan percobaan/eksperimen, dan tiga kali replikasi. Pada Tabel 3.1 berikut ini merupakan contoh tabel *Orthogonal Array* L9 (3^4):

Tabel 3.1 Tabel *Orthogonal Array* L9 (3^4)

No. Eksperimen	Faktor				Replikasi		
	A	B	C	D	R1	R2	R3
1	1	1	1	1	x	x	x
2	1	2	2	2	x	x	x
3	1	3	3	3	x	x	x
4	2	1	3	3	x	x	x
5	2	2	2	1	x	x	x
6	2	3	1	2	x	x	x
7	3	1	3	2	x	x	x
8	3	2	1	3	x	x	x
9	3	3	2	1	x	x	x

Sumber: Soejanto (2008)

Dalam penelitian ini memiliki faktor-faktor dan level faktor yang berpengaruh antara lain:

1. Faktor
 - A. Rasio semen dan agregat.
 - B. Rasio faktor air semen (FAS).
 - C. Rasio komposisi *fly ash*.
 - D. Rasio pasir dan lumpur Lapindo.
2. Level
 - a. Level faktor A
 - 1= 1 semen : 4 agregat
 - 2= 1 semen : 6 agregat
 - 3= 1 semen : 7 agregat
 - b. Level faktor B
 - 1= 50% air : 50% semen
 - 2= 40% air : 60% semen
 - 3= 60% air : 40% semen
 - c. Level faktor C
 - 1= 25% *fly ash*
 - 2= 35% *fly ash*
 - 3= 50% *fly ash*
 - d. Level faktor D
 - 1= 40% pasir : 60% lumpur Lapindo
 - 2= 50% pasir : 50% lumpur Lapindo
 - 3= 60% pasir : 40% lumpur Lapindo

3.5.5 Penentuan Respon

Data respon yang didapatkan dari eksperimen harus diukur dengan alat ukur yang valid dan dengan pengukuran yang benar. Dalam penentuan respon ini terdiri dari dua

karakteristik kualitas yaitu memilih karakteristik kualitas (variabel tak bebas) dan memilih faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas (variabel bebas).

Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lainnya. Dalam merencanakan suatu percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas yang akan diselidiki. Dalam penelitian ini variabel tak bebas atau pemilihan karakteristik kualitas yaitu *larger the better*, yaitu semakin besar nilai target yang diperoleh maka semakin baik. Variabel bebas (faktor) adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lainnya. Penentuan respon pada penelitian ini yaitu batako dan yang diukur adalah kuat tekan pada batako (Mpa).

3.5.6 Identifikasi Faktor-faktor yang Berpengaruh

Pada tahap ini akan diselidiki faktor mana saja yang akan diselidiki pengaruhnya. Dalam eksperimen ini tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi respon diselidiki, hanya faktor yang dianggap penting saja yang diselidiki.

3.5.7 Pemisahan Faktor Terkendali dan Faktor Tidak Terkendali

Dalam metode Taguchi, faktor yang mempengaruhi suatu eksperimen dibedakan menjadi dua yaitu faktor terkendali dan faktor tidak terkendali. Faktor terkendali (*control factor*) adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita kendalikan. Penelitian ini memiliki faktor-faktor terkendali antara lain rasio semen dan agregat, rasio faktor air semen, rasio komposisi *fly ash*, serta rasio pasir dan lumpur Lapindo. Faktor tidak terkendali (*noise factor*) adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau dikendalikan. Penelitian ini juga memiliki faktor tidak terkendali antara lain suhu pemeliharaan batako, metode pencampuran adonan batako, dan lain sebagainya.

3.5.8 Penentuan Jumlah Faktor dan Level Faktor

Pemilihan jumlah faktor sangat penting karena berkaitan dengan ketelitian eksperimen dan omkos eksperimen. Level faktor dinyatakan secara kuantitatif dan kualitatif. Penelitian ini memiliki empat faktor dengan masing-masing faktor memiliki tiga level faktor yang mengacu pada tabel *Orthogonal Array* $L_9 (3^4)$.

3.5.9 Identifikasi Interaksi Antar Faktor

Pada tahap ini akan diselidiki faktor mana saja yang akan diselidiki pengaruhnya. Dalam eksperimen ini tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi respon diselidiki, hanya faktor yang dianggap penting saja yang diselidiki.

Pada tabel 3.2 berikut ini menjelaskan interaksi antar faktor-faktor yang terkendali beserta level-level faktornya:

Tabel 3.2 Faktor dan Level Faktor Berpengaruh

Faktor Terkendali	Level Faktor		
	1	2	3
Rasio Semen dan Agregat	1:4	1:6	1:7
Rasio Faktor Air Semen	50%:50%	40%:60%	60%:40%
Rasio Komposisi <i>Fly Ash</i>	25%	35%	50%
Rasio Pasir dan Lumpur Lapindo	40%:60%	50%:50%	60%:40%

3.5.10 Perhitungan Derajat Kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan digunakan untuk menghitung jumlah minimum eksperimen yang harus dilakukan. Pada tabel 3.3 menjelaskan perhitungan derajat kebebasan dalam penelitian ini.

Tabel 3.3 Perhitungan Derajat Kebebasan

Faktor		Df
Kode	Penjelasan	
A	Rasio semen dan agregat	(3-1)
B	Rasio faktor air semen	(3-1)
C	Rasio komposisi <i>fly ash</i>	(3-1)
D	Rasio pasir dan lumpur Lapindo	(3-1)
Total		8

3.5.11 Pemilihan *Orthogonal Array*

Dalam pemilihan *Orthogonal Array* haruslah memenuhi pertidaksamaan $V_{in} > V_p$ dengan V_{in} adalah jumlah *trial* dikurangi dengan 1 dan V_p adalah jumlah total derajat kebebasan.

$$L_9(3^4) = (3-1) * 4 = 8$$

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa desain *Orthogonal Array* $L_9(3^4)$ sesuai dengan *degree of freedom*.

3.5.12 Penugasan Faktor Pada *Orthogonal Array*

Penugasan faktor pada *Orthogonal Array* yang dipilih berdasarkan pada grafik linear dan tabel *tringuler*. Kedua hal tersebut merupakan alat bantu yang dirancang oleh

Taguchi. Untuk penugasan faktor *Orthogonal Array* dalam penelitian didapatkan seperti tabel 3.1 pada subbab sebelumnya.

3.6 Persiapan dan Pelaksanaan Eksperimen

Pada tahap ini dilakukan eksperimen berdasarkan faktor-faktor dan level faktor yang berpengaruh serta pemilihan *Orthogonal Array*, dengan pembuatan eksperimen batako yang diinginkan serta pengujian kuat tekan batako.

3.7 Analisis Data dan Interpretasi Hasil

Pada tahap analisis data dilakukan pengolahan dari hasil eksperimen. Ditujukan setelah menganalisis data yaitu menginterpretasikan hasil dari pengolahan data eksperimen. Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan dan sudah relevan dengan persoalan yang diangkat selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan metode yang relevan terhadap permasalahan yang dihadapi. Pada pengolahan data yang dihitung antara lain perhitungan rata-rata, SNR, dan ANOVA tanpa interaksi.

Sedangkan pada tahap interpretasi hasil merupakan langkah yang dilakukan setelah percobaan dan analisis data telah dilakukan. Interpretasi yang dilakukan antara lain dengan menghitung persentase kontribusi.

3.8 Percobaan Konfirmasi

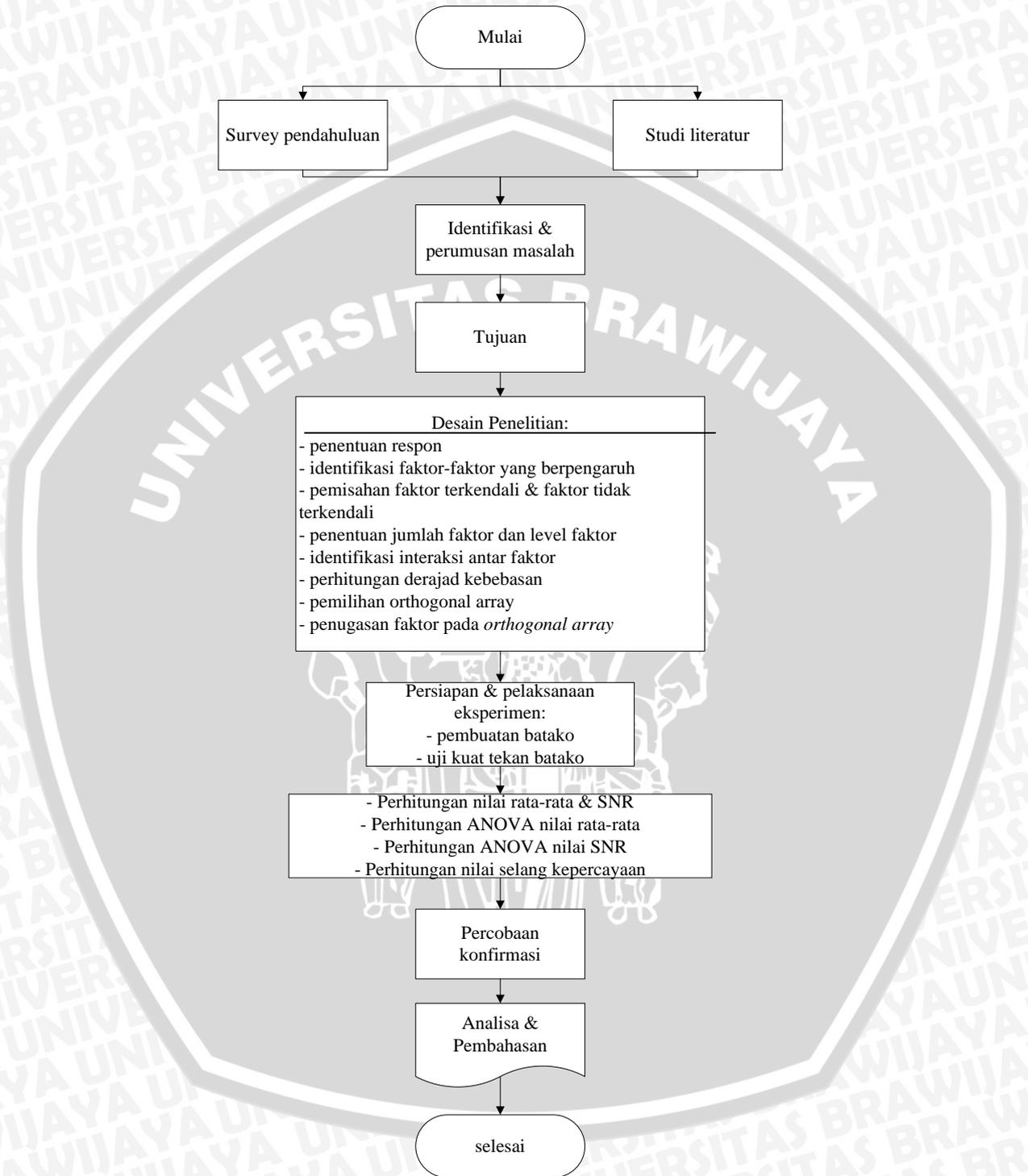
Percobaan konfirmasi adalah percobaan yang dilakukan untuk memeriksa kesimpulan yang didapat. Tujuan percobaan konfirmasi adalah untuk memverifikasi dugaan yang dibuat pada saat model performansi penentuan faktor dan interaksinya serta *setting* parameter (faktor) yang optimum hasil analisis hasil percobaan pada performansi yang diharapkan.

3.9 Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahapan akhir dari penelitian yang berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengumpulan, pengolahan, dan analisa yang menjawab tujuan penelitian yang diterapkan.

3.10 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah diagram alir dari penelitian pembuatan batako bahan baku alternatif dengan bahan campuran tambahan *fly ash*:



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tentang proses pengumpulan data dan juga pengolahan data itu sendiri serta analisis dan pembahasannya. Pengolahan yang dilakukan antara lain meliputi perencanaan eksperimen, pelaksanaan eksperimen, analisis hasil eksperimen, dan tahap validasi.

4.1 Perencanaan Eksperimen

Pada tahap perencanaan eksperimen ini berisikan tentang penjelasan mengenai tahapan-tahapan pendahuluan atau perencanaan sebelum suatu eksperimen dilakukan.

4.1.1 Penetapan Karakteristik Kualitas

Untuk penetapan karakteristik kualitas batako hasil eksperimen yang diharapkan yaitu *larger the better* serta karakteristik kualitas yang diamati pada batako yaitu kuat tekan dengan satuan yang digunakan Mpa atau Kg/cm^2 . Dengan kata lain penetapan karakteristik kualitas yang diinginkan pada batako hasil eksperimen yaitu semakin besar kuat tekan (Mpa) yang dihasilkan maka akan semakin baik, sehingga pada penelitian ini akan menghasilkan *setting* level optimal dari faktor-faktor yang berpengaruh.

4.1.2 Penetapan Faktor Berpengaruh

Dalam mengidentifikasi dan menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas dari kuat tekan suatu batako maka dilakukan survey pendahuluan, studi literatur, dan melakukan *brainstorming* dengan para ahli. Untuk penelitian ini hanya akan menggunakan faktor-faktor yang berpengaruh atau faktor-faktor terkendali saja. Berdasarkan hasil studi literatur dan juga survey pendahuluan yang dilakukan bahwa untuk mendapatkan nilai optimal kuat tekan suatu batako yaitu perhitungan komposisi bahan-bahan pembuat batako itu sendiri. Berikut ini merupakan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas dari kuat tekan batako alternatif:

1. Rasio Semen dan Agregat

Dalam pembuatan suatu batako, bahan utama pembuatnya yaitu semen dan juga agregat (pasir dan kerikil). Semen merupakan bahan pengikat dalam pembuatan batako, sehingga semen dan agregat terjadi suatu ikatan (proses hidrasi). Sehingga

penentuan rasio berat semen dan juga agregat sangat penting dalam menghasilkan batako yang diharapkan.

2. Rasio Faktor Air Semen (FAS)

Dalam pembuatan batako juga terdapat perbandingan antara berat air dan juga berat semen atau yang biasanya disebut faktor air-semen. Faktor air-semen sangat berpengaruh dalam campuran adonan batako yang memberikan pengaruh dalam kuat tekannya. Semakin rendah faktor air-semen semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan oleh batako.

3. Rasio Komposisi *Fly Ash*

Pozzolan merupakan sifat yang dimiliki oleh *fly ash*, dimana kandungan tersebut memiliki sifat pengikat seperti halnya semen. Dengan tanpa mengurangi kekuatan tekan batako yang akan dihasilkan, penambahan *fly ash* diharapkan mampu meningkatkan kualitas batako dengan mengurangi semen yang digunakan, maka biaya yang dikeluarkan dapat sedikit dikurangi.

4. Rasio Pasir dan Lumpur lapindo

Agregat merupakan bahan utama dalam pembuatan suatu batako, agregat terdiri dari pasir dan kerikil. Kerikil yang merupakan agregat kasar merupakan satu kesatuan dengan agregat halus (pasir), kerikil memberikan pengaruh pada kekuatan batako yang dimana permukaan kasar dari kerikil memberikan ikatan yang cukup baik. Begitu juga agregat kasar yang terkandung pada lumpur Lapindo, dengan pemberian komposisi agregat kasar lumpur Lapindo diharapkan menambah kekuatan tekan pada batako yang dihasilkan.

4.1.3 Penetapan Level Faktor Berpengaruh

Dalam penelitian ini menggunakan tiga level faktor berpengaruh dari empat faktor yang berpengaruh pada batako yang akan dibuat. Berikut merupakan uraian level faktor pada penelitian ini:

1. Rasio Semen dan Agregat

Penentuan rasio semen dan agregat pada pembuatan batako secara umum yaitu dengan perbandingan 1 (satu) kilogram semen dan untuk agregat memiliki rasio yang bermacam-macam sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Untuk penelitian ini rasio semen dan agregat menggunakan perbandingan 1 kg semen : 4 kg agregat, 1 kg semen : 6 kg agregat, dan 1 kg semen : 7 kg agregat.

2. Rasio Faktor Air Semen (FAS)

Untuk faktor air semen dalam pembuatan batako pada umumnya memiliki rentang berkisar 0,4 – 0,7. Dalam penelitian ini faktor air semen yang digunakan yaitu (50% air : 50% semen), (40% air : 60% semen), dan (60% air : 40% semen). Untuk pemberian air yang terlalu sedikit maka akan menghasilkan batako yang kental yang berdampak pada lamanya proses pengeringan, sedangkan jika terlalu banyak air yang digunakan akan menghasilkan batako yang encer dengan dampak pada kurangnya kuat tekan pada batako tersebut.

3. Rasio Komposisi *Fly Ash*

Untuk komposisi *fly ash* dalam penelitian ini yaitu diambil dari rasio perbandingan pemberian semen, pemberian *fly ash* sebesar 25% (75% semen : 25% *fly ash*), 35% (65% semen : 35% *fly ash*), dan 50% (50% semen : 50% *fly ash*). *Fly ash* memiliki karakteristik yang hampir sama dengan semen sebagai perekat, dikarenakan dalam *fly ash* memiliki sifat pozolan dengan kandungan silika dan alumina yang merupakan bahan utama pembuatan semen.

4. Rasio Pasir dan Lumpur Lapindo

Untuk lumpur Lapindo dalam penelitian ini yang digunakan yaitu agregat halusnya dengan mengasumsikan agregat halus pada lumpur Lapindo sama dengan agregat halus pada umumnya (pasir). Dalam penelitian ini rasio pasir dan lumpur Lapindo yaitu sebesar 40% pasir : 60% lumpur, 50% pasir : 50% lumpur, dan 60% pasir : 40% lumpur. Diharapkan untuk pemberian agregat kasar lumpu Lapindo dapat sedikit mengurangi limbah lumpur Lapindo.

Penetapan level faktor pada penelitian ini dapat dijelaskan pada Tabel 4.1 beriku ini:

Tabel 4.1 Penetapan Level Faktor yang Berpengaruh

Faktor Berpengaruh	Level Faktor		
	1	2	3
Rasio Semen dan Agregat	1:4	1:6	1:7
Rasio Faktor Air Semen	50%:50%	40%:60%	60%:40%
Rasio Komposisi <i>Fly Ash</i>	25%	35%	50%
Rasio Pasir dan Lumpur Lapindo	40%:60%	50%:50%	60%:40%

4.1.4 Penetapan *Orthogonal Array*

Untuk mendapatkan desain *orthogonal array* yang sesuai makan diperlukan nilai *degree of freedom* dari faktor-faktor yang akan digunakan dalam eksperimen. Setelah *degree of freedom* dari faktor diketahui, maka *degree of freedom orthogonal array* yang digunakan minimal sama dengan *degree of freedom* faktor utama tersebut. Pada Tabel

4.2 berikut ini adalah perhitungan *degree of freedom* untuk faktor yang terkontrol dalam penelitian ini:

Tabel 4.2 Perhitungan *Degree of Freedom*

Faktor		Df
Kode	Penjelasan	
A	Rasio semen dan agregat	(3-1)
B	Rasio faktor air semen	(3-1)
C	Rasio komposisi <i>fly ash</i>	(3-1)
D	Rasio pasir dan lumpur Lapindo	(3-1)
Total		8

Pada Tabel 4.2 diketahui bahwa *degree of freedom* dari faktor pada penelitian ini adalah delapan (8). Untuk mengetahui *degree of freedom orthogonal array* didapatkan dengan cara mengalikan derajat kebebasan per kolom dengan jumlah kolom. Berikut ini adalah perhitungan *degree of freedom orthogonal array*:

$$L_9(3^4) = (3-1) * 4 = 8$$

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa desain *orthogonal array* $L_9(3^4)$ sesuai dengan *degree of freedom* dari faktor-faktor pada eksperimen. Dalam penelitian ini terdapat 4 faktor terkontrol dengan masing-masing faktor memiliki 3 level faktor dan tidak ada faktor interaksi. Pada Tabel 4.3 berikut ini adalah tabel *orthogonal array* yang digunakan dalam penelitian ini.

Jumlah eksperimen yang harus dibuat sesuai dengan *orthogonal array* $L_9(3^4)$ adalah 9 kali eksperimen. Untuk replikasi guna mengurangi tingkat kesalahan dan meningkatkan ketelitian data percobaan adalah sebanyak 3 kali replikasi, dengan mempertimbangkan waktu dan juga biaya yang terbatas dalam penelitian ini. Sehingga jumlah *sampel* yang akan dibutuhkan dalam penelitian ini sebanyak 27 *sampel*.

Tabel 4.3 *Orthogonal Array* $L_9(3^4)$

Eksperimen	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Sumber: Soejanto, 2008

4.2 Pelaksanaan Eksperimen

Pada tahap pelaksanaan eksperimen berisikan tentang penjelasan proses pembuatan batako hingga pengujian kuat tekan batako.

4.2.1 Pembuatan Batako dengan Eksperimen Taguchi

Dalam tahapan ini maka akan dibuat *sampel* batako terdiri dari faktor-faktor terkendali dengan acuan campuran adonan yang akan digunakan yaitu penugasan pada tabel *orthogonal array*, sehingga campuran adonan sudah terperinci dari bahan mana saja yang digunakan dan juga berapa banyak bahan tersebut digunakan. Untuk mempermudah dalam pembuatan *sampel* batako maka jumlah bahan yang ada dihitung dalam berat kilogram (Kg).

Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam pembuatan *sampel* batako:

1. Menyiapkan bahan pembuat batako

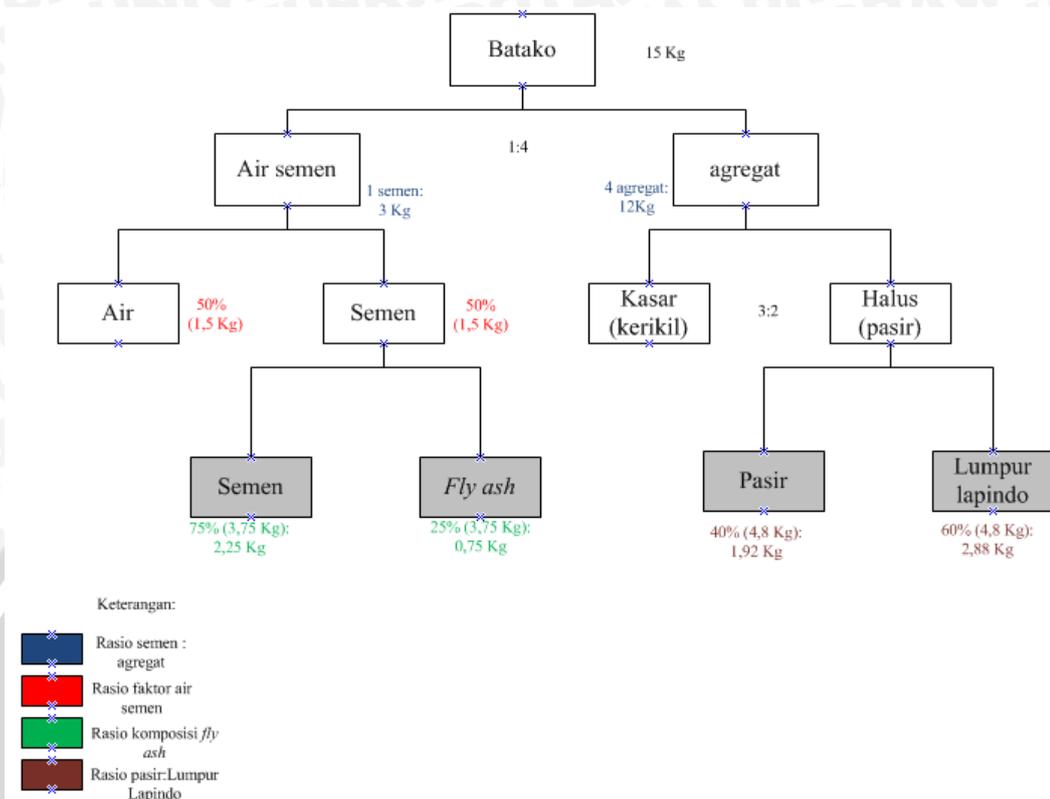
Untuk mempermudah dalam pembuatan batako maka semua bahan diukur dalam berat kilogram dilakukan pada semua perlakuan eksperimen. Khusus untuk pengukuran pada air, maka diasumsikan satu liter air sama dengan satu kilogram air. Untuk mengetahui berat dari tiap batako maka diasumsikan atau diambil rata-rata dari setiap batako eksperimen ini yaitu seberat 15 kg, maka pada Tabel 4.4 berikut ini menampilkan contoh perhitungan bahan baku dari eksperimen ke-1 dengan kombinasi level faktornya yaitu rasio semen dan agregat 1:4; rasio faktor air semen 50%:50%; rasio komposisi *fly ash* 25% dan rasio pasir dan lumpur Lapindo 40%:60%. Untuk membuat satu *sampel* batako dengan menggunakan cetakan manual dibutuhkan tiga kali pembuatan adonan.

Tabel 4.4 Contoh Perhitungan Bahan Baku (Eksperimen ke-1)

Bahan Baku		Rasio	Total berat (kg)	Berat bahan (kg)
Semen:agregat	Semen	1	15	3
	Agregat	4		12
Air:semen	Air	50%	3	1,5
	Semen	50%		1,5
Semen: <i>fly ash</i>	Semen	75%	3	2,25
	<i>Fly ash</i>	25%		0,75
Pasir:Lapindo	Pasir	40%	4,8	1,92
	Lapindo	60%		2,88

Seperti keterangan diatas bahwa untuk pembuatan satu *sampel* batako yang menggunakan cetakan manual seperti pada aksperimen ini memerlukan tiga kali

adonan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.1 yang merupakan bagan eksperimen untuk eksperimen ke-1 berikut ini:



Gambar 4.1 Bagan Eksperimen Ke-1

2. Pencampuran bahan dan pengadukan adonan batako

Untuk pencampuran bahan-bahan (agregat, semen, *fly ash*, air, pasir dari lumpur Lapindo) yang digunakan untuk membuat batako dilakukan dengan dua tahap. Tahap pertama yaitu mencampurkan bahan-bahan dalam keadaan kering seperti semen, agregat, pasir dari lumpur Lapindo, dan *fly ash*. Bahan-bahan tersebut dicampur menjadi satu hingga merata. Tahap kedua yaitu pengadukan adonan dengan cara menambahkan air sesuai takaran yang telah ditentukan pada bahan-bahan yang telah dicampur sebelumnya hingga merata dan homogen.

3. Mencetak adonan batako

Adonan yang telah merata dan terlihat homogen kemudian dimasukkan ke dalam cetakan batako yang berukuran panjang 40 cm x lebar 10 cm x tinggi 20 cm dan dilakukan pemadatan dengan menggunakan tongkat besi serta pengepresan secara manual.

4. Pengeringan batako

Untuk proses pengeringan batako yang telah dicetak dilakukan selama 28 hari pada tempat yang teduh, apabila *sampel* sudah terlihat mengeras dilakukan penyiraman minimal tiga (3) kali sehari selama tujuh (7) hari. Setelah 28 hari masing-masing *sampel* batako siap diuji kuat tekannya.

4.2.2 Pengujian Kuat Tekan Batako Eksperimen Taguchi

Untuk pengujian kuat tekan batako dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya pada tanggal 3 Desember 2012. Pengujian kuat tekan batako dilakukan dengan menggunakan *compression machine*. Data hasil pengujian kuat tekan batako eksperimen Taguchi dipaparkan pada Tabel 4.5 berikut ini:

Tabel 4.5 Hasil Kuat Tekan Batako Eksperimen Taguchi

Eksperimen	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum			R1 (Mpa)	R2 (Mpa)	R3 (Mpa)
		R1 (N)	R2 (N)	R3 (N)			
1	40000	298000	280000	290000	7,45	7,0	7,25
2	40000	284000	295000	305000	7,1	7,375	7,625
3	40000	266000	270000	250000	6,65	6,75	6,25
4	40000	282000	271000	311000	7,05	6,775	7,775
Eksperimen	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum			R1 (Mpa)	R2 (Mpa)	R3 (Mpa)
		R1 (N)	R2 (N)	R3 (N)			
5	40000	307000	298000	293000	7,675	7,45	7,325
6	40000	228000	237000	250000	5,7	5,925	6,25
7	40000	277000	228000	274000	6,925	5,7	6,85
8	40000	276000	251000	266000	6,9	6,275	6,65
9	40000	244000	249000	221000	6,1	6,225	5,525

Sumber: Hasil Pengujian di Lab. Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil UB (2012)

4.3 Analisis Hasil Eksperimen

Pada tahap analisis hasil eksperimen berisikan tentang pengolahan data dengan mengacu pada perhitungan yang telah ditentukan oleh Taguchi.

4.3.1 Pengolahan Data Hasil Eksperimen

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya akan diolah dengan menggunakan dua cara, yaitu *analysis of variance* untuk data pada rata-rata eksperimen (*mean*) dan

analysis of variance untuk data pada *signal to noise ratio* (SNR). Untuk *analysis of variance* data rata-rata eksperimen sendiri digunakan untuk mencari faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi nilai rata-rata hasil eksperimen atau juga dapat diartikan mencari *setting level* optimal yang dapat meminimalkan penyimpangan nilai rata-rata. Sedangkan untuk *analysis of variance* data pada *signal to noise ratio* digunakan untuk mencari faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variansi suatu karakteristik kualitas.

4.3.1.1 Perhitungan Nilai Rata-rata dan Nilai SNR

Seperti yang dijelaskan pada sub bab 4.3.1 Pengolahan Data Hasil Eksperimen bahwa tujuan dicarinya nilai rata-rata yaitu untuk mengetahui *setting level* optimal pada eksperimen ini. Sedangkan dicarinya nilai *signal to noise ratio* (SNR) untuk mengetahui faktor-faktor mana saja yang mempengaruhi nilai variansi pada eksperimen ini. Berikut ini merupakan perhitungan dari nilai rata-rata dan juga nilai SNR.

1. Perhitungan nilai rata-rata eksperimen Taguchi

Rumus perhitungan nilai rata-rata:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

dengan,

μ : nilai rata-rata

y_i : nilai *sampel* ke- i

n : jumlah *sampel*

Contoh perhitungan nilai rata-rata untuk hasil eksperimen ke-1, sebagai berikut:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\mu = \frac{1}{3} (7,45 + 7,0 + 7,25)$$

$$\mu = 7,233333$$

Seperti perhitungan eksperimen ke-1, maka pada eksperimen ke-2 sampai eksperimen ke-9 menggunakan langkah yang sama sehingga didapatkan semua nilai rata-rata dari semua eksperimen yang tersedia. Perhitungan keseluruhan dicantumkan pada Tabel 4.6.

2. Perhitungan nilai *signal to noise ratio* (SNR)

Dalam penelitian ini karakteristik kualitas yang diamati adalah kuat tekan batako dengan satuan Mpa, dimana semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan maka semakin baik. Dari penjelasan tersebut maka jenis karakteristik kualitas pada penelitian ini yaitu *larger the better*. Berikut ini rumus dari SNR *larger the better*:

$$\eta = -10 \log_{10} \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right|$$

Contoh perhitungan nilai SNR untuk hasil eksperimen ke-1, sebagai berikut:

$$\eta = -10 \log_{10} \left| \frac{1}{3} \left(\frac{1}{7,45^2} + \frac{1}{7,0^2} + \frac{1}{7,25^2} \right) \right|$$

$$\eta = 17,18958 \text{ Mpa}$$

Seperti perhitungan eksperimen ke-1, maka pada eksperimen ke-2 sampai eksperimen ke-9 menggunakan langkah yang sama sehingga didapatkan semua nilai SNR dari semua eksperimen yang tersedia.

Pada Tabel 4.6 berikut ini berisikan seluruh nilai rata-rata dan juga nilai SNR eksperimen.

Tabel 4.6 Hasil perhitungan nilai rata-rata dan nilai SNR

eksperimen	Faktor Terkontrol				R1 (Mpa)	R2 (Mpa)	R3 (Mpa)	Rata-rata	SNR
	A	B	C	D					
1	1	1	1	1	7,45	7,0	7,25	7,233333	17,18958
2	1	2	2	2	7,1	7,375	7,625	7,366667	17,3491
3	1	3	3	3	6,65	6,75	6,25	6,55	16,32955
4	2	1	2	3	7,05	6,775	7,775	7,2	17,16153
5	2	2	3	1	7,675	7,45	7,325	7,483333	17,48353
6	2	3	1	2	5,7	5,925	6,25	5,958333	15,50873
7	3	1	3	2	6,925	5,7	6,85	6,491667	16,2749
8	3	2	1	3	6,9	6,275	6,65	6,608333	16,40839
9	3	3	2	1	6,1	6,225	5,525	5,95	15,50172

Setelah diketahui nilai dari rata-rata dan juga nilai dari SNR, maka langkah selanjutnya yaitu menganalisis dengan menggunakan *analysis of variance* untuk nilai rata-rata serta *analysis of variance* untuk nilai SNR. Tujuannya yaitu mencari *setting level* tertinggi dengan variansi yang rendah.

4.3.1.2 Perhitungan *Analysis of Variance* Nilai Rata-rata

Taguchi menggunakan *analysis of variance means* untuk mencari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai rata-rata respon. *Analysis of variance means* merupakan metode yang digunakan untuk mencari *setting level* optimal guna meminimalkan penyimpangan

rata-rata. Berikut ini merupakan langkah-langkah perhitungan *analysis of variance means*:

1. Menghitung nilai rata-rata semua eksperimen

Perhitungan nilai rata-rata semua eksperimen menggunakan rumus sebagai berikut ini:

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$
$$\bar{y} = \frac{7,45 + 7,0 + 7,25 + \dots + 5,525}{27}$$
$$\bar{y} = \frac{182,525}{27} = 6,760185$$

2. Menghitung nilai rata-rata setiap level faktor

Perhitungan nilai rata-rata setiap level faktor menggunakan rumus sebagai berikut ini:

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

Dengan,

\bar{y}_{jk} : nilai rata-rata faktor j level k

\bar{y}_{ijk} : nilai rata-rata eksperimen ke-I untuk faktor j level k

n_{ijk} : jumlah eksperimen faktor j level k

Contoh perhitungan nilai rata-rata faktor A level 1 sebagai berikut:

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$
$$\bar{y}_{A1} = \frac{7,233333 + 7,366667 + 6,55}{3}$$
$$\bar{y}_{A1} = \frac{21,15}{3} = 7,05$$

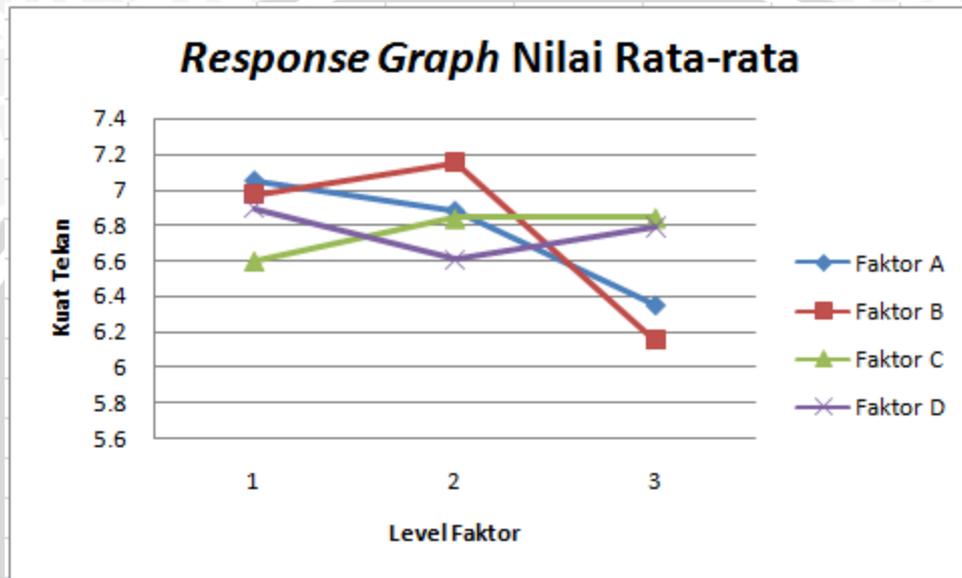
3. Membuat *response tabel* dan *response graph*

Response tabel dibuat dengan tujuan untuk mengetahui efek dari setiap level faktor terhadap respon (kuat tekan batako), dengan cara melihat perbedaan nilai rata-rata respon antar level faktor dan juga mengurutkan perbedaan level faktor tersebut dari yang terbesar sampai terkecil. Pada Tabel 4.7 berikut ini menjelaskan *response tabel* untuk penelitian ini:

Tabel 4.7 Tabel Respon Nilai Rata-rata

	Faktor			
	A	B	C	D
Level 1	7,05	6,975	6,6	6,888889
Level 2	6,880556	7,152778	6,838889	6,605556
Level 3	6,35	6,152778	6,841667	6,786111
Selisih	0,7	1	0,241667	0,283333
Ranking	2	1	4	3

Pada Gambar 4.2 berikut ini menjelaskan *response graph* nilai rata-rata:



Gambar 4.2 Response Graph Nilai Rata-rata

Response graph merupakan grafik yang memetakan nilai level pada setiap faktor yang dibaca lewat tabel respon, berdasarkan Gambar 4.2 diatas dapat dilihat bahwa grafik tersebut menjelaskan bahwa untuk Faktor A level 1 memiliki nilai rata-rata kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan level 2 dan 3, Faktor B level 2 memiliki nilai rata-rata kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan level 1 dan 3, Faktor C level 3 memiliki nilai rata-rata kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan level 1 dan 2, demikian juga dengan Faktor D level 1 memiliki nilai rata-rata kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan level 2 dan 3.

4. Menghitung nilai *total sum of square*

$$SS_{total} = \sum Y^2$$

$$SS_{total} = 7,45^2 + 7,0^2 + 7,25^2 + \dots + 5,525^2$$

$$SS_{total} = 1244,692$$

5. Menghitung nilai *sum of squares due to mean*

$$mean(S_m) = n\bar{m}^2$$

$$mean = 27 * 6,760185^2$$

$$mean = 1233,903$$

6. Menghitung nilai *sum of squares due to factors*

Contoh perhitungan untuk Faktor A:

$$SS_A = n_{A1} * \bar{A1}^2 + n_{A2} * \bar{A2}^2 + n_{A3} * \bar{A3}^2 - S_m$$

$$SS_A = (9 * 7,05^2) + (9 * 6,880556^2) + (9 * 6,35^2) - 1233,903$$

$$SS_A = 2,400602$$

7. Menghitung nilai *sum of squares due to error*

$$SS_e = SS_{total} - mean(S_m) - \sum SS_j$$

$$SS_e = SS_{total} - S_m - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_D)$$

$$SS_e = 1244,692 - 1233,903 - (2,400602 + 5,122963 + 0,346435 + 0,370324)$$

$$SS_e = 2,54875$$

8. Menghitung derajat bebas untuk sumber-sumber variansi

Contoh perhitungan untuk Faktor A

$$DF_A = \text{jumlah level} - 1$$

$$DF_A = 3 - 1$$

$$DF_A = 2$$

9. Menghitung nilai *mean sum of squares*

Mean sum of squares merupakan pembagian antara *sum of squares due to factors* dengan derajat bebas. Contoh perhitungan untuk Faktor A:

$$MS_A = \frac{SS_A}{DF_A}$$

$$MS_A = \frac{2,400602}{2}$$

$$MS_A = 1,200301$$

10. Menghitung nilai *F ratio*

Nilai *F ratio* merupakan pembagian antara *mean sum of squares* dengan *error sum of squares*. Contoh perhitungan untuk Faktor A:

$$F_A = \frac{M_A}{M_e}$$

$$F_A = \frac{1,200301}{0,141597}$$

$$F_A = 8,476868$$

11. Menghitung *pure sum of squares*

Contoh perhitungan untuk Faktor A:

$$SS_A' = SS_A - DF_A * M_e$$

$$SS_A' = 2,400602 - (2 * 0,141597)$$

$$SS_A' = 2,117407$$

12. Menghitung *percent contribution*

Contoh perhitungan untuk Faktor A:

$$\rho_A = \frac{SS_A'}{SS_t} * 100\%$$

$$\rho_A = \frac{2,117407}{10,78907} * 100\%$$

$$\rho_A = 19,62548\%$$

Hasil dari seluruh perhitungan *analysis of variance* untuk nilai rata-rata dipaparkan pada Tabel 4.8 berikut ini

Tabel 4.8 *Analysis of Variance* Nilai Rata-rata Sebelum *Pooling*

Source	SS	DF	MS	F Ratio	SS'	Ratio %	F tabel
A	2,400602	2	1,200301	8,476868	2,117407	19,62548	3,55
B	5,122963	2	2,561481	18,08991	4,839769	44,85805	3,55
C	0,346435	2	0,173218	1,223312	0,063241	0,586155	3,55
D	0,370324	2	0,185162	1,307667	0,08713	0,807573	3,55
Error	2,54875	18	0,141597	1	3,681528	34,12274	
SS _t	10,78907	26	0,414964		10,78907	100	
Mean	1233,903	1					
SS _{total}	1244,692	27					

Dari tabel *analysis of variance* diketahui bahwa faktor yang memiliki pengaruh signifikan yaitu Faktor A (rasio semen dan agregat) dan B (rasio faktor air semen) terhadap kuat tekan batako, dimana memiliki perbandingan *F-ratio* lebih besar dari *F-tabel* ($F_{0,05;2;18}$)=3,55. Penggunaan taraf nyata dalam eksperimen ini yaitu sebesar 5% merupakan besar batas kesalahan yang akan ditolerir. Pertimbangan menggunakan $\alpha_{0,05}$ pada eksperimen ini yaitu dirasa cukup karena penelitian ini hanya memiliki waktu yang singkat serta biaya yang terbatas. Jika *F-ratio* lebih kecil dari *F-tabel* maka faktor yang bersangkutan tidak berpengaruh secara signifikan, dalam eksperimen ini Faktor C (rasio komposisi *fly ash*) dan D (rasio

pasir dan lumpur Lapindo) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kuat tekan batako.

13. Pooling up

Pada Metode Taguchi setelah menghitung ANOVA maka selanjutnya yaitu rekomendasi untuk penggunaan separuh jumlah derajat kebebasan pada *orthogonal array* yang digunakan. Hal ini bertujuan agar adanya penghindaran dari estimasi yang berlebihan dan juga menghindari kesalahan pada eksperimen. Untuk eksperimen ini menggunakan $L_9(3^4)$ dengan empat faktor terkontrol, maka hanya memerlukan kurang lebih dua (separuh dari empat faktor terkontrol) pengaruh utama untuk perkiraan. Dengan kata lain faktor-faktor yang tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan batako akan dilakukan *pooling up*, faktor-faktor tersebut yaitu Faktor C (rasio komposisi *fly ash*) dan Faktor D (rasio pasir dan lumpur Lapindo). Berikut ini perhitungan untuk *pooling up* faktor C dan D.

$$\begin{aligned} SS(\text{pooled } e) &= SSe + SSC + SSD \\ &= 2,54875 + 0,346435 + 0,370324 \\ &= 3,265509 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DF(\text{pooled } e) &= DFe + DFC + DFD \\ &= 18 + 2 + 2 = 22 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MS(\text{pooled } e) &= \frac{S(\text{pooled } e)}{DF(\text{pooled } e)} \\ &= \frac{3,265509}{22} = 0,148432 \end{aligned}$$

Pada Tabel 4.9 berikut ini merupakan hasil perhitungan *analysis of variance* nilai rata-rata setelah *pooling*

Tabel 4.9 Analysis of Variance Nilai Rata-rata Setelah Pooling

Source	Pool	SS	DF	MS	F Ratio	SS'	Ratio %	F tabel
A		2,400602	2	1,200301	8,086524	2,103737	19,49878	3,55
B		5,122963	2	2,561481	17,25691	4,826098	44,73135	3,55
C	Y	0,346435	-	-	-	-	-	-
D	Y	0,370324	-	-	-	-	-	-
Error	Y	2,54875	-	-	-	-	-	-
Pooled		3,265509	22	0,148432	1	3,859238	35,76987	
SS _t		10,78907	26	0,414964		10,78907	100	
Mean		1233,903	1					
SS _{total}		1244,692	27					

Pada Tabel 4.10 berikut ini merupakan hasil *analysis of variance* nilai rata-rata perbandingan sebelum dan sesudah *pooling up*

Tabel 4.10 *Analysis of Variance* Perbandingan Sebelum dan Sesudah *Pooling Up*

Source	SS	DF	MS	F Ratio	SS'	Ratio %	F table
A	2,400602	2	1,200301	8,086524	2,103737	19,49878	3,55
B	5,122963	2	2,561481	17,25691	4,826098	44,73135	3,55
Pooled	3,265509	22	0,148432	1	3,859238	35,76987	
SS _t	10,78907	26	0,414964		10,78907	100	
Mean	1233,903	1					
SS _{total}	1244,692	27					

Berdasarkan analisis hasil dari *analysis of variance* untuk nilai rata-rata, dapat diketahui bahwa faktor-faktor yang signifikan mempengaruhi kuat tekan batako yaitu Faktor A (rasio semen dan agregat) dan Faktor B (rasio faktor air semen). Dengan kata lain kedua faktor tersebut memiliki kontribusi paling besar untuk meningkatkan nilai rata-rata eksperimen pada kuat tekan (Mpa) batako, tetapi untuk faktor-faktor yang tidak signifikan yaitu Faktor C (rasio komposisi *fly ash*) dan Faktor D (rasio pasir dan lumpur Lapindo) sebenarnya juga memiliki kontribusi dalam eksperimen ini namun nilainya lebih kecil dibandingkan dengan dua faktor yang signifikan.

Hasil dari perhitungan tabel ANOVA setelah *pooling* menunjukkan bahwa nilai persen kontribusi *error* sebesar 35,76987%, dapat diartikan bahwa semua faktor yang signifikan mempengaruhi nilai rata-rata sudah cukup dimasukkan dalam eksperimen. Hal ini mengacu pada persyaratan yang ada dalam metode Taguchi bahwa persen kontribusi diharapkan pada nilainya $\leq 50\%$ (Soejanto, 2008), dengan nilai tersebut berarti faktor-faktor signifikan telah dilibatkan di dalam eksperimen ini. Dari hasil persen kontribusi ANOVA setelah *pooling* menandakan bahwa eksperimen ini telah memenuhi persyaratan untuk memperhitungkan nilai rata-rata optimumnya.

4.3.1.3 Perhitungan *Analysis of Variance* Nilai *Signal to Noise Ratio*

Perhitungan *analysis of variance* nilai SNR berguna untuk mencari faktor-faktor yang memiliki kontribusi pengurangan variansi pada suatu karakteristik kualitas. Pada penelitian atau eksperimen ini karakteristik kualitas yang dituju yaitu *Larger the Better* (LTB) pada kuat tekan suatu batako, dimana semakin tinggi nilai kuat tekan batako yang dihasilkan maka semakin baik. Berikut ini merupakan perhitungan dari ANOVA nilai SNR:

1. Menghitung nilai rata-rata SNR seluruh eksperimen

$$\bar{\eta} = \frac{\sum \eta}{9}$$

$$\bar{\eta} = \frac{17,18958 + 17,3491 + \dots + 15,50172}{9}$$

$$\bar{\eta} = 16,57906$$

2. Menghitung nilai rata-rata SNR pada setiap level faktor

Berikut ini merupakan rumus perhitungan nilai rata-rata SNR pada setiap level faktor:

$$\bar{\eta} = \frac{\sum \eta_{ijk}}{n_{ijk}}$$

dimana,

$\bar{\eta}$ = nilai rata-rata setiap level faktor

η_{ijk} = nilai rata-rata SNR setiap eksperimen ke-i untuk faktor j level k

n_{ijk} = jumlah eksperimen faktor j level k

Contoh perhitungan untuk faktor A level 1:

$$\bar{\eta} = \frac{17,18958 + 17,3491 + 16,32955}{3}$$

$$\bar{\eta} = 16,95607565$$

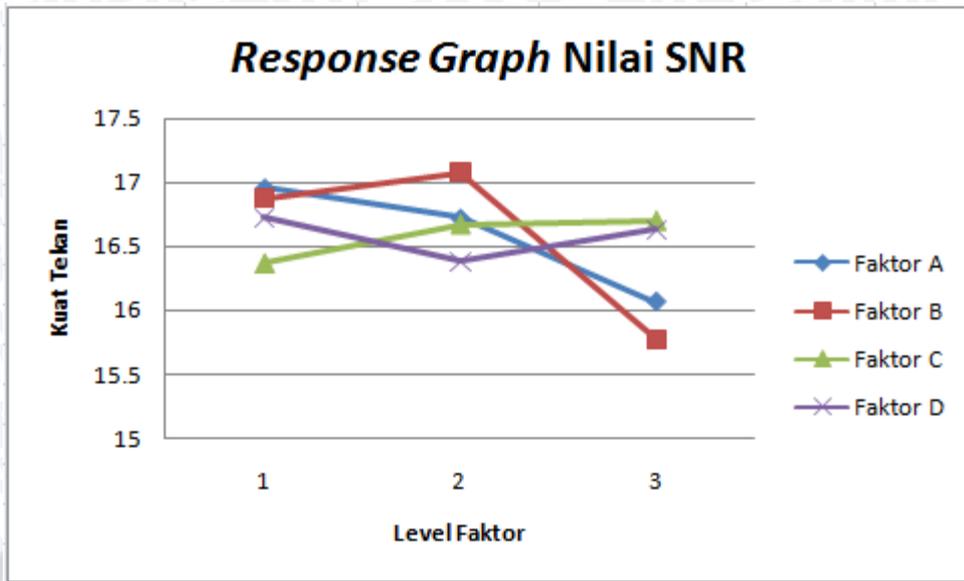
3. Membuat *response tabel* dan *response graph*

Pada pembuatan *response tabel* memiliki tujuan yang sama seperti perhitungan ANOVA nilai rata-rata, yaitu untuk mengetahui efek dari setiap level faktor terhadap respon (kuat tekan batako), dengan cara melihat perbedaan nilai rata-rata respon antar level faktor dan juga mengurutkan perbedaan level faktor tersebut dari yang terbesar sampai terkecil. Pada Tabel 4.11 berikut ini menjelaskan *response tabel* ANOVA nilai SNR pada penelitian ini:

Tabel 4.11 Tabel Respon untuk Nilai SNR

	Faktor			
	A	B	C	D
Level 1	16,95607565	16,87684	16,3689	16,72494
Level 2	16,71792813	17,08034	16,67078	16,37907
Level 3	16,06317085	15,78	16,69749	16,63316
Selisih	0,892904802	1,300341	0,328589	0,345871
Ranking	2	1	4	3

Pada Gambar 4.3 berikut ini menjelaskan *response graph* nilai SNR:



Gambar 4.3 *Response Graph* Nilai SNR

Response graph merupakan grafik yang memetakan nilai level pada setiap faktor yang dibaca lewat tabel respon, berdasarkan Gambar 4.3 diatas dapat dilihat bahwa grafik tersebut menjelaskan bahwa untuk Faktor A level 1 memiliki nilai SNR kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan level 2 dan 3, Faktor B level 2 memiliki nilai SNR kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan level 1 dan 3, Faktor C level 3 memiliki nilai SNR kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan level 1 dan 2, demikian juga dengan Faktor D level 1 memiliki nilai SNR kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan level 2 dan 3.

- Menghitung nilai *total sum of square*

$$SS_{total} = \sum \eta^2$$

$$SS_{total} = 17,18958^2 + 17,3491^2 + \dots + 15,50172^2$$

$$SS_{total} = 2478,397019$$

- Menghitung nilai *sum of squares due to mean*

$$Sm = \eta * \bar{\eta}^2$$

$$Sm = 9 * 16,57906^2$$

$$Sm = 2473,78654$$

- Menghitung nilai *sum of squares due to factors*

Contoh perhitungan untuk Faktor A:

$$SS_A = n_{A1} * \bar{\eta}_{A1}^2 + n_{A2} * \bar{\eta}_{A2}^2 + n_{A3} * \bar{\eta}_{A3}^2 - Sm$$

$$SS_A = (3 * 16,95607565^2) + (3 * 16,71792813^2) + (3 * 16,06317085^2) - 2473,78654$$

$$SS_A = 1,282700328$$

$$S(\text{pooled } e) = SSC + SSD$$

$$S(\text{pooled } e) = 0,19981693 + 0,192610148$$

$$S(\text{pooled } e) = 0,392427078$$

7. Menghitung derajat bebas untuk sumber-sumber variansi

Contoh perhitungan untuk Faktor A

$$DF_A = \text{jumlah level} - 1$$

$$DF_A = 3 - 1$$

$$DF_A = 2$$

8. Menghitung nilai *mean sum of squares*

Contoh perhitungan untuk Faktor A:

$$MS_A = \frac{SS_A}{DF_A}$$

$$MS_A = \frac{1,282700328}{2}$$

$$MS_A = 0,64135$$

9. Menghitung nilai *F ratio*

Contoh perhitungan untuk Faktor A:

$$F_A = \frac{M_A}{M_e}$$

$$F_A = \frac{0,64135}{0,098107}$$

$$F_A = 6,537267$$

10. Menghitung *pure sum of squares*

Contoh perhitungan untuk Faktor A:

$$SS_A' = SS_A - DF_A * M_e$$

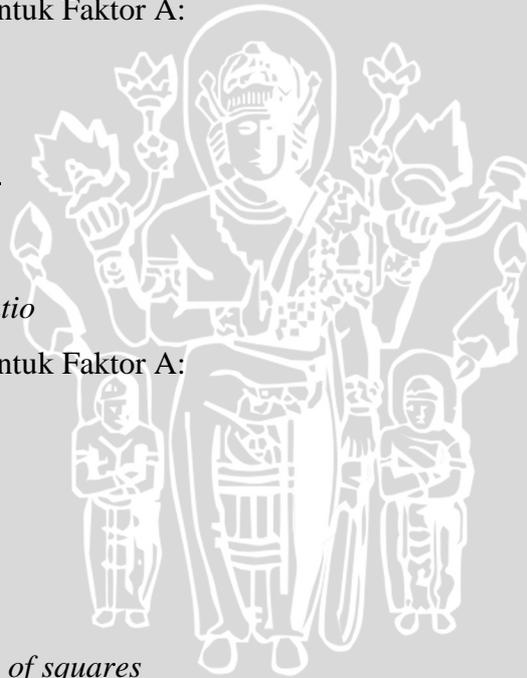
$$SS_A' = 1,282700328 - (2 * 0,098107)$$

$$SS_A' = 1,086487$$

11. Menghitung *percent contribution*

Contoh perhitungan untuk Faktor A:

$$\rho_A = \frac{SS_A'}{SS_t} * 100\%$$



$$\rho A = \frac{1,086487}{4,610478751} * 100\%$$

$$\rho A = 23,5656\%$$

Hasil dari seluruh perhitungan *analysis of variance* untuk nilai SNR dipaparkan pada Tabel 4.12 berikut ini:

Tabel 4.12 *Analysis of Variance* Nilai SNR

Source	pool	SS	DF	MS	F Ratio	SS'	Ratio %	F tabel
A		1.282700328	2	0,64135	6,537267	1,086487	23,5656	6,94
B		2.935351346	2	1,467676	14,95998	2,739138	59,41114	6,94
C	Y	0,19981693	-	-	-	-	-	-
D	Y	0,192610148	-	-	-	-	-	-
e		0,392427078	4	0,098107	1	0,784854	17,02327	
SSt		4,610478751	8			4,610478751	100	
Mean		2473,78654	1					
SS _{total}		2478,397019	9					

Perhitungan SNR dapat digunakan sebagai pemilihan *setting level* optimal dari level faktor yang telah digunakan pada suatu eksperimen. Penggunaan SNR juga dapat meminimumkan *error of variance*, yaitu variansi yang ditimbulkan oleh faktor-faktor yang tak terkendali.

Berdasarkan perhitungan ANOVA untuk nilai SNR diatas menunjukkan bahwa nilai persen kontribusi pada *error* sebesar 17,02327, yang menunjukkan bahwa semua faktor yang signifikan mempengaruhi variansi sudah dimasukkan dalam eksperimen ini. Sama seperti penjelasan ANOVA nilai rata-rata, bahwa jika persen kontribusi diharapkan nilainya $\leq 50\%$ (Soejanto, 2008) karena dengan nilai tersebut semua faktor-faktor yang penting telah dilibatkan. Dari ANOVA diatas menunjukkan bahwa hanya Faktor B (rasio faktor air semen) yang memberikan pengaruh lebih signifikan daripada tiga faktor lainnya yaitu A (rasio semen dan agregat), C (rasio komposisi *fly ash*), dan D (rasio pasir dan lumpur Lapindo).

4.3.2 Penentuan *Setting Level* Optimal

Pada Tabel 4.13 berikut ini merupakan tabel perbandingan pengaruh faktor-faktor dalam eksperimen ini yang dipaparkan untuk mencari *setting level* optimal terhadap karakteristik kualitas dari kuat tekan batako.

Tabel 4.13 Tabel Penentuan *Setting Level*

Faktor	Pengaruh	<i>Setting Level</i>
A	Signifikan	A1
B	Signifikan	B2
C	Kurang signifikan	C3
D	Kurang signifikan	D1

Berdasarkan tabel penentuan *setting level* optimal diatas dapat diketahui bahwa kombinasi level yang optimal yaitu Faktor A level 1 untuk rasio semen dan agregat (1:4), Faktor B level 2 untuk rasio faktor air semen (40%:60%), Faktor C level 3 untuk rasio komposisi *fly ash* (50%), dan Faktor D level 1 untuk rasio pasir dan lumpur Lapindo (40%:60%).

4.3.3 Perkiraan Kondisi Optimal dan Selang Kepercayaan

Perhitungan *setting level* telah ditemukan maka langkah selanjutnya yang ditempuh yaitu membuat perkiraan kondisi optimal dari kuat tekan batako berdasarkan nilai rata-rata dan juga nilai SNR. Perkiraan *setting level* ini dilakukan dengan cara membandingkan pada hasil eksperimen konfirmasi kedepannya, dimana jika nilai perkiraan dari hasil eksperimen memiliki nilai hampir sama atau mendekati maka dapat disimpulkan bahwa rancangan eksperimen Taguchi sudah memenuhi syarat yang ada. Sedangkan untuk perhitungan selang kepercayaan bertujuan untuk mengetahui perkiraan dari level-level faktor prediksi rata-rata proses pada kondisi optimal sesuai level-level optimal yang didapat.

1. Perkiraan kondisi optimal dan selang kepercayaan untuk nilai rata-rata eksperimen
 - a. Berikut ini merupakan perhitungan perkiraan kondisi optimal nilai rata-rata:

Nilai rata-rata untuk seluruh data yaitu $\bar{y} = 6,760185$

$$\mu_{prediksi} = \bar{A1} + (\bar{A1} - \bar{A2}) + (\bar{B2} + \bar{A2})$$

$$\mu_{prediksi} = \bar{A1} + \bar{B2} - \bar{A2}$$

$$\mu_{prediksi} = 7,05 + 7,152778 - 6,760185$$

$$\mu_{prediksi} = 7,442593 \text{ Mpa}$$

- b. Berikut ini merupakan perhitungan selang kepercayaan nilai rata-rata:

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha;v1;v2} * MSe * \left| \frac{1}{neff} \right|}$$

Dengan n_{eff} :

$$n_{eff} = \frac{\text{total number of experiment}}{\text{sum of degrees of freedom used in estimate of mean}}$$

$$n_{eff} = \frac{9 * 3}{DF_{\mu} + DFA + DFB}$$

$$n_{eff} = \frac{27}{1 + 2 + 2} = 5,4$$

Maka perhitungan selang kepercayaan sebagai berikut:

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha;v_1;v_2} * MSe * \left| \frac{1}{n_{eff}} \right|}$$

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{0,05;1;22} * 0,148432 * \left| \frac{1}{5,4} \right|}$$

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{4,30 * 0,148432 * \left| \frac{1}{5,4} \right|}$$

$$CI_{mean} = \pm 0,343796$$

Maka selang kepercayaan untuk nilai rata-rata proses optimal:

$$\mu_{prediksi} - CI_{mean} \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI_{mean}$$

$$7,442593 - 0,343796 \leq \mu_{prediksi} \leq 7,442593 + 0,343796$$

$$7,098797 \leq \mu_{prediksi} \leq 7,786389$$

2. Perkiraan kondisi optimal dan selang kepercayaan untuk nilai SNR

a. Berikut ini merupakan perhitungan perkiraan kondisi optimal nilai SNR:

Nilai rata-rata untuk SNR seluruh data yaitu $\bar{\eta} = 16,57906$

$$\eta_{prediksi} = \bar{\eta} + (\overline{A1} - \bar{\eta}) + (\overline{B2} + \bar{\eta})$$

$$\eta_{prediksi} = \overline{A1} + \overline{B2} - \bar{\eta}$$

$$\eta_{prediksi} = 16,95607565 + 17,08034 - 16,57906$$

$$\eta_{prediksi} = 17,45735565$$

b. Berikut ini merupakan perhitungan selang kepercayaan nilai SNR:

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{F_{\alpha;v_1;v_2} * MSe * \left| \frac{1}{n_{eff}} \right|}$$

Dengan n_{eff} :

$$n_{eff} = \frac{\text{total number of experiment}}{\text{sum of degrees of freedom used in estimate of mean}}$$

$$n_{eff} = \frac{9}{DF_{\eta} + DFA + DFB}$$

$$n_{eff} = \frac{9}{1 + 2 + 2} = 1,8$$

Maka selang kepercayaan untuk nilai SNR :

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{F_{\alpha;v_1;v_2} * MSe * \left| \frac{1}{n_{eff}} \right|}$$

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{F_{0,05;1;4} * 0,098107 * \left| \frac{1}{1,8} \right|}$$

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{7,71 * 0,098107 * \left| \frac{1}{1,8} \right|}$$

$$CI_{SNR} = \pm 0,648248$$

Maka selang kepercayaan untuk nilai SNR proses optimal:

$$\eta_{prediksi} - CI_{SNR} \leq \eta_{prediksi} \leq \eta_{prediksi} + CI_{SNR}$$

$$17,45735565 - 0,648248 \leq \eta_{prediksi} \leq 17,45735565 + 0,648248$$

$$16,809108 \leq \eta_{prediksi} \leq 18,105604$$

4.4 Tahap Validasi

Pada tahap validasi ini melakukan eksperimen konfirmasi guna memvalidasi hasil dari *setting level* yang telah dihasilkan pada perhitungan sebelumnya.

4.4.1 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi sendiri merupakan proses terakhir dari proses perancangan percobaan, dimana eksperimen ini dilaksanakan dengan melakukan suatu pengujian yang menggunakan kombinasi tertentu dari faktor-faktor dan level-level hasil evaluasi sebelumnya.

Dalam eksperimen konfirmasi menentukan kombinasi level terbaik dari faktor-faktor yang signifikan merupakan tugas utama dari eksperimen ini. Untuk faktor-faktor yang tidak signifikan tetap diikuti dalam eksperimen ini dengan mengambil level yang terbaik guna ditetapkan pada sembarang level. Untuk tujuan eksperimen

konfirmasi sendiri yaitu untuk memvalidasi terhadap kesimpulan yang diperoleh dari tahap analisa sebelumnya, dimana jumlah *sampel* yang digunakan untuk eksperimen konfirmasi yaitu ≥ 10 sampel.

Untuk eksperimen konfirmasi dalam percobaan ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Brawijaya dengan hasil pengujian kuat tekan batako eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Tabel 4.14 berikut ini:

Tabel 4.14 Hasil Kuat Tekan Batako Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen	Luas Penampang (mm ²)	Beban maks (N)	Kuat Tekan (Mpa)
1	40000	290000	7,25
2	40000	283000	7,075
3	40000	267000	6,675
4	40000	277000	6,925
5	40000	269000	6,725
6	40000	261000	6,525
7	40000	271000	6,775
8	40000	274000	6,85
9	40000	281000	7,025
10	40000	266000	6,65

Sumber: Hasil Pengujian di Lab. Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil UB (2013)

Setelah mendapatkan data diatas maka langkah selanjutnya yaitu dianalisis hingga mendapatkan nilai selang kepercayaan untuk dibandingkan dengan selang kepercayaan pada kondisi optimal, hal itu merupakan syarat dari eksperimen konfirmasi guna validasi diterima atau tidaknya percobaan kuat tekan batako ini. Berikut ini merupakan perhitungan nilai rata-rata dan juga variansi:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

Dengan,

μ = nilai rata – rata

y_i = nilai sampel ke – i

n = jumlah sampel

Untuk perhitungan nilai rata-rata sebagai berikut:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\mu = \frac{1}{10} (7,25 + 7,075 + \dots + 6,65)$$

$$\mu = 6,8475$$

Untuk perhitungan variansi didapatkan dengan rumus sebagai berikut:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$$

Dengan,

$\sigma^2 = \text{variansi}$

$\mu = \text{nilai rata - rata}$

$y_i = \text{nilai sampel ke } - i$

$n = \text{jumlah sampel}$

Untuk jumlah sampel kurang dari 30 maka rumus perhitungan variansi menjadi seperti beriku ini:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{10-1} ((7,25 - 6,8475)^2 + \dots + (6,65 - 6,8475)^2)$$

$$\sigma^2 = 0,049368$$

Untuk perhitungan SNR hasil eksperimen konfirmasi sebagai berikut:

$$\eta = -10 \log_{10} \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right|$$

$$\eta = -10 \log_{10} \left| \frac{1}{10} \left(\frac{1}{7,25^2} + \dots + \frac{1}{6,65^2} \right) \right|$$

$$\eta = 16,714754$$

4.4.2 Selang Kepercayaan Eksperimen Konfirmasi

Berikut ini merupakan perhitungan selang kepercayaan eksperimen konfirmasi baik untuk nilai rata-rata dan juga nilai SNR. Seperti pada kondisi optimal, tujuan selang kepercayaan eksperimen konfirmasi yaitu untuk membuat suatu perkiraan dari level-level faktor. Untuk selang kepercayaan sendiri akan dibandingkan antara selang kepercayaan optimal dengan selang kepercayaan eksperimen konfirmasi, ini akan menggambarkan apakah percobaan ini diterima atau ditolak kevalidannya dengan cara membandingkan dalam bentuk grafik.

Berikut ini merupakan perhitungan selang kepercayaan untuk nilai rata-rata dan juga untuk nilai SNR:

1. Selang kepercayaan eksperimen konfirmasi untuk nilai rata-rata

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha;v1;v2} * MSE * \left| \frac{1}{neff} + \frac{1}{r} \right|}$$

$$CI_{mean} = \pm \sqrt{F_{0,05;1;22} * 0,148432 * \left| \frac{1}{5,4} + \frac{1}{10} \right|}$$

$$CI_{mean} = \pm 0,426640$$

Maka selang kepercayaan eksperimen konfirmasi untuk nilai rata-rata :

$$\mu_{confirmation} - CI_{mean} \leq \mu_{confirmation} \leq \mu_{confirmation} + CI_{mean}$$

$$6,8475 - 0,426640 \leq \mu_{confirmation} \leq 6,8475 + 0,426640$$

$$6,42086 \leq \mu_{confirmation} \leq 7,27414$$

2. Selang kepercayaan eksperimen konfirmasi untuk nilai SNR

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{F_{\alpha;v1;v2} * MSE * \left| \frac{1}{neff} + \frac{1}{r} \right|}$$

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{F_{0,05;1;4} * 0,148432 * \left| \frac{1}{1,8} + \frac{1}{10} \right|}$$

$$CI_{SNR} = \pm 0,704177$$

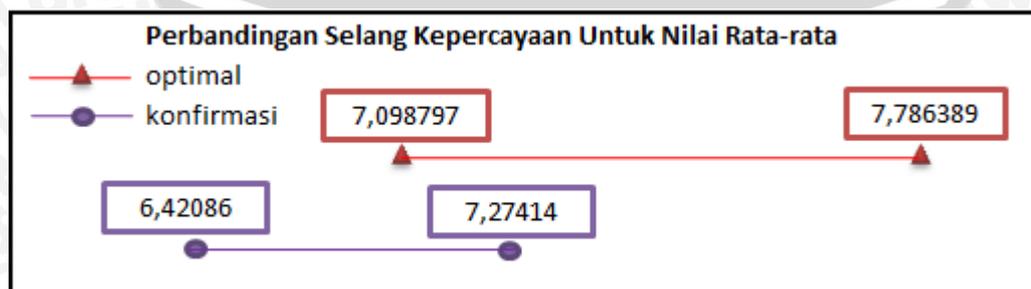
Maka selang kepercayaan eksperimen konfirmasi untuk nilai SNR :

$$\mu_{confirmation} - CI_{SNR} \leq \mu_{confirmation} \leq \mu_{confirmation} + CI_{SNR}$$

$$16,714744 - 0,704177 \leq \mu_{confirmation} \leq 16,714744 + 0,704177$$

$$16,010567 \leq \mu_{confirmation} \leq 17,418921$$

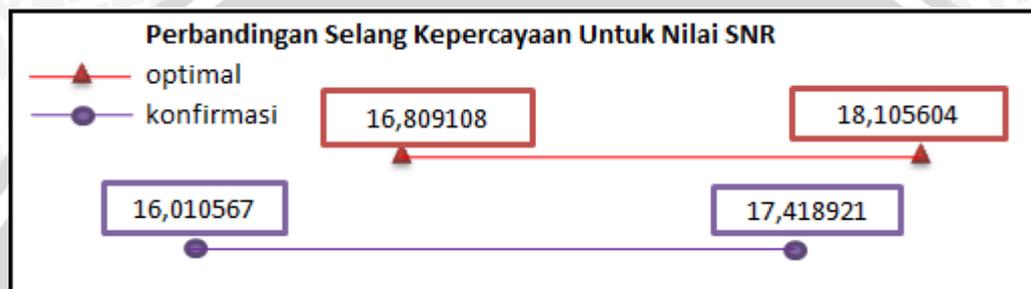
Setelah menghitung selang kepercayaan eksperimen konfirmasi, maka tahap selanjutnya yaitu membandingkan selang kepercayaan optimal dan eksperimen konfirmasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 untuk selang kepercayaan nilai rata-rata dan Gambar 4.5 untuk selang kepercayaan untuk nilai SNR berikut ini.



Gambar 4.4 Perbandingan Selang Kepercayaan Untuk Nilai Rata-Rata

Berdasarkan gambar diatas menunjukkan bahwa hasil eksperimen konfirmasi untuk nilai rata-rata dapat diterima dengan pertimbangan selang kepercayaan karena pada gambar diatas menjelaskan bahwa hasil dari eksperimen konfirmasi masih berada dalam interval hasil optimal. Hasil Gambar 4.4 di atas didapatkan dari tabel 2.7 sub bab 2.8.8 mengenai perbandingan interval kepercayaan untuk kondisi optimal dan eksperimen metode Taguchi yang menunjukkan bahwa keputusan diterima, begitu juga pada perbandingan selang kepercayaan nilai SNR untuk Gambar 4.5.

Untuk perbandingan selang kepercayaan nilai SNR dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4.5 Perbandingan Selang Kepercayaan Untuk Nilai SNR

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat pula hasil dari eksperimen konfirmasi untuk nilai SNR juga dapat diterima dengan pertimbangan selang kepercayaan dikarenakan nilai selang kepercayaan eksperimen konfirmasi berada dalam nilai optimal.

4.5 Pembahasan

Pada eksperimen ini setelah semua proses selesai dari tahap awal hingga tahap validasi dapat dilihat bahwa untuk faktor yang signifikan yaitu Faktor A (rasio semen dan agregat) dan Faktor B (rasio faktor air semen), sedangkan faktor yang kurang signifikan yaitu Faktor C (rasio komposisi *fly ash*) dan Faktor D (rasio pasir dan lumpur Lapindo). Sedangkan faktor yang kurang signifikan memiliki nilai kesignifikan sebagai berikut, Faktor C memiliki nilai F sebesar 1,223312 dan Faktor D memiliki nilai F sebesar 1,307667. Dengan dipergunakan selang kepercayaan sebesar 0,05 yang memiliki nilai F kritis yaitu $\geq 3,55$.

Dalam eksperimen ini maka menunjukkan memberikan pengaruh Faktor C dan Faktor D dalam eksperimen kurang signifikan. Hal ini mungkin dikarenakan penentuan beda antar level pada kedua faktor tersebut kurang ekstrim. Namun dengan berdasarkan uji ANOVA menunjukkan bahwa penggantian semen dengan *fly ash* dan penggantian

agregat halus (pasir) dengan lumpur Lapindo tidak menyebabkan perubahan atau penurunan pada kuat tekan batako secara signifikan. Sehingga bahan-bahan limbah tersebut tetap dapat digunakan dalam pembuatan batako karena hasil batako yang sudah diuji kuat tekannya menunjukkan rata-rata kuat tekan batako pada eksperimen ini sebesar 6,8475 Mpa yang didapat dari proses validasi. Dengan rata-rata kuat tekan sebesar 6,8475 Mpa merupakan tingkat mutu II dalam SNI 03-0349-1989, maka dari itu penggunaan bahan baku alternatif untuk eksperimen ini dapat diperhitungkan kembali dengan mangacu hasil rata-rata kuat tekan batako secara keseluruhan.



BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan secara menyeluruh tentang penelitian eksperimen Taguchi kuat tekan batako, serta saran dari penulis yang bertujuan untuk pengembangan penggunaan metode Taguchi untuk suatu produk tertentu baik dalam hal pengembangan produk maupun perbaikan kualitas produk.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah diteliti maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas kuat tekan (Mpa) pada batako yaitu rasio semen dan agregat, rasio faktor air semen, rasio komposisi *fly ash*, serta rasio pasir dan lumpur Lapindo. Faktor-faktor yang bersignifikansi lebih dari eksperimen ini yaitu rasio faktor air semen untuk nilai rata-rata dan nilai SNR dengan level faktor terpilih B2 (40%:60%), serta rasio semen dan agregat untuk nilai rata-rata lebih signifikan daripada nilai SNR dengan level faktor terpilih A1 (1:4). Sedangkan untuk faktor yang kurang signifikan yaitu rasio faktor komposisi *fly ash* dengan level faktor terpilih C3 (50%) serta rasio pasir dan lumpur Lapindo dengan level faktor terpilih D1 (40%:60%).
2. Berdasarkan hasil dari ANOVA untuk nilai rata-rata maupun nilai SNR didapatkan *setting level* optimal dari faktor-faktor terkontrol, faktor yang memiliki tingkat signifikan lebih terhadap kuat tekan batako pada eksperimen ini yaitu rasio semen dan agregat (1:4) dan rasio faktor air semen (40%:60%). Untuk kuat tekan optimal yang didapatkan dari eksperimen ini melalui eksperimen konfirmasi yaitu sebesar 6,8475 Mpa. Sedangkan untuk penggantian semen dengan *fly ash* dan juga agregat halus (pasir) dengan lumpur Lapindo tidak mempengaruhi penurunan kuat tekan batako.

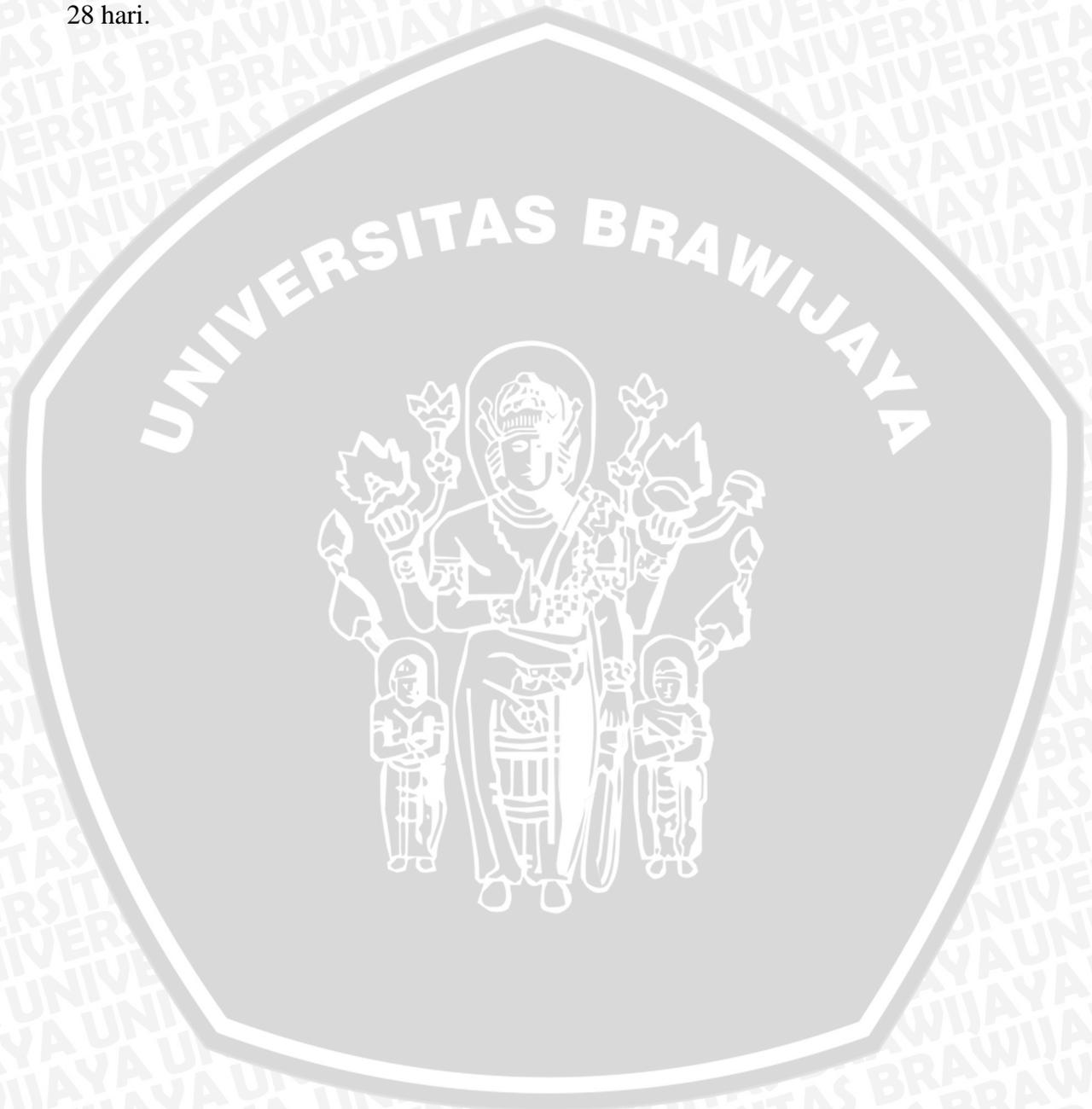
5.2 Saran

Berikut ini saran yang bertujuan untuk pengembangan tentang metode Taguchi dan untuk penelitian-penelitian sejenis kedepannya:

1. Dalam penelitian ini melibatkan *fly ash* dan lumpur Lapindo sebagai salah satu faktor berpengaruh, dari hal itu dapat ditinjau kembali akan perlunya penelitian

lebih lanjut akan *fly ash* dan lumpur Lapindo yang kedepannya bermanfaat sebagai bahan baku alternatif.

2. Untuk penelitian yang sejenis disarankan dalam pembuatan batako menggunakan cetakan otomatis agar hasil yang diinginkan lebih maksimal, dengan catatan pula umur batako yang digunakan juga menggunakan umur batako yang maksimal yaitu 28 hari.



DAFTAR PUSTAKA

Cahya, Indra. 1984. *Teknologi Beton*. Malang: -.

Dazali.2007. *Pengaruh Penggunaan Lumpur Lapindo Brantas Dalam Campuran Mortar Terhadap Nilai Kuat Tekan Batako*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Malang:Universitas Brawijaya.

Pravitasari.2009. *Pengaruh Penggunaan Bottom Ash (Kerak) Limbah Pembakaran Batubara Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Batako Terhadap Kuat Tekan Batako*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Malang:Universitas Brawijaya.

Setyowati, Edhi Wahyuni. *Penggunaan Campuran Lumpur Lapindo Terhadap Peningkatan Kualitas Genteng Keramik, Jurnal Dinamika Teknik Sipil, Vol. 9, No. 1:67-75.*

Soejanto, Irwan. 2008. *Rekayasa Kualitas: Eksperimen dengan Teknik Taguchi*. Surabaya: Yayasan Humaniora.

Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-0349-1989 tentang bata beton untuk pasangan dinding.

Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-2049-1994 tentang Semen *Portland*.

Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6863-2002 tentang Abu Terbang.

Umar, Husein. *Metode Penelitian Untuk Skripsi dan Tesis Bisnis*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada, 2008.

Wiryasa, Ngk. Made Anom dkk. *Pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Pembuatan Paving Block, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol. 12, No.12:29-36*

Wiyono.2012. *Penentuan Setting Level Optimal Kuat Tekan Paving Block Berbahan Alternatif Fly Ash Dengan Rekayasa Kualitas Taguchi*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

repository.ub.ac.id

Lampiran1 Dokumentasi Pembuatan Batako



Lampiran 1.1 Lumpur Lapindo Kering (1)



Lampiran 1.2 Lumpur Lapindo Kering (2)



Lampiran 1.3 *Fly Ash*



Lampiran 1.4 Komposisi Pembentukan Batako Alternatif



Lampiran 1.5 Pengadukan Komposisi



Lampiran 1.6 Cetakan Batako Manual



Lampiran 1.7 Hasil Batako Alternatif (1)



Lampiran 1.8 Hasil Batako Alternatif (2)



Lampiran 1.9 Pengukuran Beban Batako



Lampiran 1.10 *Compression Machine*



Lampiran 1.11 Pemasangan Batako Pada Alat Uji



Lampiran 1.12 Uji Kuat Tekan Batako



Lampiran 1.13 Hasil Uji Kuat Tekan (1)



Lampiran 1.14 Hasil Uji Kuat Tekan (2)



Lampiran 2 Tabel-F $_{\alpha=0,05}$

df2\df1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	35	40	45	50	60	70	80	100	200	500	1000	>1000	df1/df2	
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70	8.69	8.68	8.67	8.67	8.66	8.65	8.64	8.63	8.62	8.62	8.60	8.59	8.59	8.58	8.57	8.57	8.56	8.55	8.54	8.53	8.53	8.54	3	
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.84	5.83	5.82	5.81	5.80	5.79	5.77	5.76	5.75	5.75	5.73	5.72	5.71	5.70	5.69	5.68	5.67	5.66	5.65	5.64	5.63	5.63	5.63	4
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62	4.60	4.59	4.58	4.57	4.56	4.54	4.53	4.52	4.50	4.50	4.48	4.46	4.45	4.44	4.43	4.42	4.42	4.41	4.39	4.37	4.37	4.36	4.36	5
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94	3.92	3.91	3.90	3.88	3.87	3.86	3.84	3.83	3.82	3.81	3.79	3.77	3.76	3.75	3.74	3.73	3.72	3.71	3.69	3.68	3.67	3.67	3.67	6
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51	3.49	3.48	3.47	3.46	3.44	3.43	3.41	3.40	3.39	3.38	3.36	3.34	3.33	3.32	3.30	3.29	3.29	3.27	3.25	3.24	3.23	3.23	3.23	7
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.20	3.19	3.17	3.16	3.15	3.13	3.12	3.10	3.09	3.08	3.06	3.04	3.03	3.02	3.01	2.99	2.99	2.97	2.95	2.94	2.93	2.93	2.93	8
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	2.99	2.97	2.96	2.95	2.94	2.92	2.90	2.89	2.87	2.86	2.84	2.83	2.81	2.80	2.79	2.78	2.77	2.76	2.73	2.72	2.71	2.71	2.71	9
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.83	2.81	2.80	2.79	2.77	2.75	2.74	2.72	2.71	2.70	2.68	2.66	2.65	2.64	2.62	2.61	2.60	2.59	2.56	2.55	2.54	2.54	2.54	10
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.70	2.69	2.67	2.66	2.65	2.63	2.61	2.59	2.58	2.57	2.55	2.53	2.52	2.51	2.49	2.48	2.47	2.46	2.43	2.42	2.41	2.41	2.41	11
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62	2.60	2.58	2.57	2.56	2.54	2.52	2.51	2.49	2.48	2.47	2.44	2.43	2.41	2.40	2.38	2.37	2.36	2.35	2.32	2.31	2.30	2.30	2.30	12
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53	2.51	2.50	2.48	2.47	2.46	2.44	2.42	2.41	2.39	2.38	2.36	2.34	2.33	2.31	2.30	2.28	2.27	2.26	2.23	2.22	2.21	2.21	2.21	13
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.44	2.43	2.41	2.40	2.39	2.37	2.35	2.33	2.32	2.31	2.28	2.27	2.25	2.24	2.22	2.21	2.20	2.19	2.16	2.14	2.14	2.13	2.13	14
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40	2.38	2.37	2.35	2.34	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.25	2.22	2.20	2.19	2.18	2.16	2.15	2.14	2.12	2.10	2.08	2.07	2.07	2.07	15
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35	2.33	2.32	2.30	2.29	2.28	2.25	2.24	2.22	2.21	2.19	2.17	2.15	2.14	2.12	2.11	2.09	2.08	2.07	2.04	2.02	2.02	2.01	2.01	16
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.24	2.23	2.21	2.19	2.17	2.16	2.15	2.12	2.10	2.09	2.08	2.06	2.05	2.03	2.02	1.99	1.97	1.97	1.96	1.96	17
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27	2.25	2.23	2.22	2.20	2.19	2.17	2.15	2.13	2.12	2.11	2.08	2.06	2.05	2.04	2.02	2.00	1.99	1.98	1.95	1.93	1.92	1.92	1.92	18
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.21	2.20	2.18	2.17	2.16	2.13	2.11	2.10	2.08	2.07	2.05	2.03	2.01	2.00	1.98	1.97	1.96	1.94	1.91	1.88	1.88	1.88	19	
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.23	2.20	2.18	2.17	2.15	2.14	2.12	2.10	2.08	2.07	2.05	2.04	2.01	1.99	1.98	1.97	1.95	1.93	1.92	1.91	1.88	1.86	1.85	1.84	1.84	20
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15	2.13	2.11	2.10	2.08	2.07	2.05	2.03	2.01	2.00	1.98	1.96	1.94	1.92	1.91	1.89	1.88	1.86	1.85	1.82	1.80	1.79	1.78	1.78	22

Lampiran 2.1 Tabel-F $_{\alpha=0,05}$

24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11	2.09	2.07	2.05	2.04	2.03	2.00	1.98	1.97	1.95	1.94	1.91	1.89	1.88	1.86	1.84	1.83	1.82	1.80	1.77	1.75	1.74	1.73	24
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07	2.05	2.03	2.02	2.00	1.99	1.97	1.95	1.93	1.91	1.90	1.87	1.85	1.84	1.82	1.80	1.79	1.78	1.76	1.73	1.71	1.70	1.69	26
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04	2.02	2.00	1.99	1.97	1.96	1.93	1.91	1.90	1.88	1.87	1.84	1.82	1.80	1.79	1.77	1.75	1.74	1.73	1.69	1.67	1.66	1.66	28
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01	1.99	1.98	1.96	1.95	1.93	1.91	1.89	1.87	1.85	1.84	1.81	1.79	1.77	1.76	1.74	1.72	1.71	1.70	1.66	1.64	1.63	1.62	30
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.08	2.04	2.01	1.99	1.96	1.94	1.92	1.91	1.89	1.88	1.85	1.83	1.82	1.80	1.79	1.76	1.74	1.72	1.70	1.68	1.66	1.65	1.63	1.60	1.57	1.57	1.56	35
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92	1.90	1.89	1.87	1.85	1.84	1.81	1.79	1.77	1.76	1.74	1.72	1.69	1.67	1.66	1.64	1.62	1.61	1.59	1.55	1.53	1.52	1.51	40
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89	1.87	1.86	1.84	1.82	1.81	1.78	1.76	1.74	1.73	1.71	1.68	1.66	1.64	1.63	1.60	1.59	1.57	1.55	1.51	1.49	1.48	1.47	45
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03	1.99	1.95	1.92	1.89	1.87	1.85	1.83	1.81	1.80	1.78	1.76	1.74	1.72	1.70	1.69	1.66	1.63	1.61	1.60	1.58	1.56	1.54	1.52	1.48	1.46	1.45	1.44	50
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84	1.82	1.80	1.78	1.76	1.75	1.72	1.70	1.68	1.66	1.65	1.62	1.59	1.57	1.56	1.53	1.52	1.50	1.48	1.44	1.41	1.40	1.39	60
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97	1.93	1.89	1.86	1.84	1.81	1.79	1.77	1.75	1.74	1.72	1.70	1.67	1.65	1.64	1.62	1.59	1.57	1.55	1.53	1.50	1.49	1.47	1.45	1.40	1.37	1.36	1.35	70
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79	1.77	1.75	1.73	1.72	1.70	1.68	1.65	1.63	1.62	1.60	1.57	1.54	1.52	1.51	1.48	1.46	1.45	1.43	1.38	1.35	1.34	1.33	80
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77	1.75	1.73	1.71	1.69	1.68	1.65	1.63	1.61	1.59	1.57	1.54	1.52	1.49	1.48	1.45	1.43	1.41	1.39	1.34	1.31	1.30	1.28	100
200	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26	2.14	2.06	1.98	1.93	1.88	1.84	1.80	1.77	1.74	1.72	1.69	1.67	1.66	1.64	1.62	1.60	1.57	1.55	1.53	1.52	1.48	1.46	1.43	1.41	1.39	1.36	1.35	1.32	1.26	1.22	1.21	1.19	200
500	3.86	3.01	2.62	2.39	2.23	2.12	2.03	1.96	1.90	1.85	1.81	1.77	1.74	1.71	1.69	1.66	1.64	1.62	1.61	1.59	1.56	1.54	1.52	1.50	1.48	1.45	1.42	1.40	1.38	1.35	1.32	1.30	1.28	1.21	1.16	1.14	1.12	500
1000	3.85	3.00	2.61	2.38	2.22	2.11	2.02	1.95	1.89	1.84	1.80	1.76	1.73	1.70	1.68	1.65	1.63	1.61	1.60	1.58	1.55	1.53	1.51	1.49	1.47	1.43	1.41	1.38	1.36	1.33	1.31	1.29	1.26	1.19	1.13	1.11	1.08	1000
>1000	1.04	3.00	2.61	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.79	1.75	1.72	1.69	1.67	1.64	1.62	1.61	1.59	1.57	1.54	1.52	1.50	1.48	1.46	1.42	1.40	1.37	1.35	1.32	1.30	1.28	1.25	1.17	1.11	1.08	1.03	>1000
df2\df1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	35	40	45	50	60	70	80	100	200	500	1000	>1000	df1\df2

Lampiran 2.2 Tabel- $F_{\alpha=0,05}$ (lanjutan)