

# STRATEGI PERENCANAAN JUMLAH MATERIAL TAMBAHAN DALAM MEMPRODUKSI SEMEN DENGAN PENDEKATAN TAGUCHI UNTUK MEMINIMALKAN BIAYA PRODUKSI (STUDI KASUS PT SEMEN PADANG)

Nelvi Irawati<sup>1,2</sup>, Nilda Tri Putri<sup>2</sup>, Alexie Herryandie BA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PT Semen Padang, Padang

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

Email: nelvi.yosfikar@gmail.com(korespondensi)

## Abstract

Cement is a construction material with a specific quality that must be meet standard requirements and customer requirements. Through a good and continuous quality control, it will produce cement with consistent quality as its Quality Planning. Cement quality is calculated after adding water by measuring its setting time, compressive strength developing, heat of hydration, expansion/ shrinkage, and its durability to environment effect. In cement application, primary parameter to determine cement quality is its compressive strength. Some factors that affect compressive strength of cement are reactivity and amount of Tricalcium Silicate ( $C_3S$ ) of Clinker, Clinker frelime (free CaO), amount of  $SO_3$  in Cement, amount of additional materials (insoluble residue/IR and loss on ignition/ LOI), and sieve on  $45 \mu m$  residue of cement. This research is intended to find how insoluble residue/ IR, loss on ignition/ LOI, and amount of  $SO_3$  will affect compressive strength of cement. Various percentages of IR, LOI, and  $SO_3$  in cement will result different compressive strength. Taguchi Method is applied to determine material proportion. With Orthogonal Array calculation for 3 factors and 4 levels, it will result 16 calculation running times ( $L_{16} 4^{**3}$ ). In laboratory scale, cement for this research has been being manufactured and then its compressive strength for 3 days, 7 days, and 28 days will be measured. Determination of optimal proportion will be calculated by statistic method for higher compressive strength and lower manufacturing cost.

**Keywords:** Compressive strenght, cement, taguchi method, proportion

## Abstrak

Semen merupakan bahan konstruksi yang memerlukan kualitas yang sesuai dengan permintaan konsumen dan memenuhi persyaratan standar. Melalui pengendalian kualitas yang baik dan dilakukan secara terus menerus akan diperoleh kualitas semen yang stabil dan sesuai dengan perencanaan kualitas (Quality Planning). Kualitas semen diukur, berdasarkan performansinya saat penambahan air, yaitu bagaimana proses pengikatan semen, perkembangan kuat tekan, panas hidrasi, pemuai/ penyusutan volume dan ketahanan semen terhadap pengaruh lingkungan (durability). Dalam praktek pemakaian semen di lapangan, parameter utama untuk menentukan kualitas semen adalah parameter kuat tekan. Beberapa faktor yang mempengaruhi kuat tekan semen adalah reaktivitas dan jumlah trikalsium silikat ( $C_3S$ ) klinker, frelime klinker (CaO bebas), jumlah  $SO_3$  dalam semen, jumlah material tambahan (BTL dan LOI) dan kehalusan semen dalam sieve on  $45\mu m$ . Pada paper iniakan meneliti faktor yang mempengaruhi kuat tekan semen yaitu parameter BTL, LOI dan  $SO_3$ . Variasi prosentase parameter BTL, LOI dan  $SO_3$  dalam semen akan mempengaruhi pencapaian kuat tekan. Penentuan proporsi material yang akan diteliti menggunakan metode Taguchi. Dengan perhitungan OrthogonalArray untuk 3 faktor dan 4 tingkatan level diperoleh jumlah penelitian yang dilakukan adalah 16 kali ( $L_{16} 4^{**3}$ ). Pada saat ini sedang dilakukan pembuatan semen skala Laboratorium dan dilanjutkan dengan pengujian kuat tekan semen pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari. Penentuan proporsi

*optimal dihitung secara metoda statistika untuk kuat tekan tinggi dan biaya produksi yang rendah.*

**Kata kunci:** *Kuat tekan, semen, metoda taguchi, proporsi*

## 1. PENDAHULUAN

Semen adalah bahan konstruksi yang merupakan *hydraulic binder* (perekat hidraulis) yang berarti bahwa senyawa-senyawa yang terkandung didalam semen tersebut dapat bereaksi dengan air dan membentuk zat baru yang bersifat sebagai perekat terhadap batuan.

Kualitas Semen berdasarkan kebutuhan pelanggan: bagaimana proses pengikatan semen, perkembangan kuat tekan, panas hidrasi, pemuaian/ penyusutan volume dan ketahanan semen terhadap pengaruh lingkungan (*durability*) [1]. Dalam praktek pemakaian semen di lapangan, parameter utama adalah parameter kuat tekan. Kuat tekan semen dipengaruhi oleh lima faktor utama, yaitu [1]:

1. Kualitas klinker berupa reaktivitas dan jumlah trikalsium silikat ( $C_3S$ ) klinker, serta frelime klinker ( $CaO$  bebas).
2. Jumlah  $SO_3$  dalam semen.
3. Jumlah dan reaktivitas *pozzoland* yang ditambahkan dalam *Cement Mill* berupa persentase (%) bagian tak larut di semen.
4. Jumlah dan kualitas batu kapur yang ditambahkan dalam *Cement Mill* yang diukur sebagai persentase (%) hilang pijar di semen.
5. Kehalusan semen, *sieve on* 45  $\mu m$  dan *blaine* semen, serta sebaran partikel 3 – 30  $\mu m$ .

Dalam penelitian sebelum ini telah dikaji faktor-faktor yang signifikan mempengaruhi kuat tekan semen pada umur 3 hari, 7 hari, dan 28 hari dan seberapa besar pengaruhnya terhadap kualitas. Hasil penelitian tersebut, didapatkan bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap kuat tekan semen adalah kualitas klinker yaitu  $C_3S$  klinker, Hilang Pijar Semen/ *loss on ignition* (LOI) dan  $SO_3$  pada semen [6].

Penelitian tersebut akan dilanjutkan dengan analisa yang mempengaruhi kuat tekan semen khusus untuk jumlah Bagian Tak Larut Semen (BTL), jumlah  $SO_3$  dan Hilang Pijar Semen (LOI). Jumlah BTL,  $SO_3$  dan LOI dalam semen sangat berpengaruh terhadap kuat tekan, jenis semen yang dihasilkan, biaya produksi yang optimal.

Selanjutnya jumlah Bagian Tak Larut (BTL) pada semen dipengaruhi oleh seberapa banyak pozzolan yang ditambahkan, sedangkan jumlah  $SO_3$  dipengaruhi oleh seberapa banyak *gypsum* ditambahkan, dan jumlah Hilang Pijar Semen (LOI) dipengaruhi oleh seberapa banyak batu kapur yang ditambahkan.

PT Semen Padang memproduksi dua jenis semen non OPC yaitu *Portland Pozzoland Cement* (PPC) dan *Portland Composite Cement* (PCC). Perbedaan dalam memproduksi semen PPC atau PCC hanyalah pengaturan jumlah material tambahan di *Cement Mill*, sedangkan pada proses produksi klinker yang merupakan produk setengah jadi untuk masing-masing jenis semen tidak ada perbedaan. Berdasarkan spesifikasi standar internal PT Semen Padang, semen yang diproduksi adalah semen PPC apabila dalam pembuatan semen jumlah pozzolan lebih dari 10 pct dan batu kapur kurang dari 8% memenuhi persyaratan standar nasional SNI 15-0302-2004 dengan nilai hilang pijar (LOI) 5% maks. Selanjutnya apabila batu kapur yang ditambahkan lebih besar dari 8% dari proporsi semen, maka produk yang dihasilkan disebut semen PCC sesuai dengan SNI 15-7064-2004.

Semen PPC yang diproduksi PT Semen Padang adalah *Type IP-U* yaitu semen dengan kuat tekan awal tinggi. Semen portland pozzolan (PPC) berdasarkan SNI 15-0302-2004 dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton, sehingga semen PPC dapat digunakan untuk konstruksi umum [7]. Salah satu keunggulan semen PPC adalah, karena mengandung bahan pozzolan maka konstruksi yang dihasilkan tahan terhadap serangan sulfat. Tidak berbeda dengan PPC, Semen Portland Komposit (semen PCC) juga dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti: pekerjaan beton, pasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, bata beton (*paving block*) dan sebagainya [8]. Meskipun demikian, sebagian besar produsen semen di Indonesia lebih suka memproduksi semen PCC dibandingkan semen PPC karena lebih

fleksibel dan tidak ada batasan dalam penambahan material.

**Tabel 1.** Perbedaan Spesifikasi Semen

No	Parameter	Jenis Semen		
		OPC	PPC	PCC
1	MgO % (maks)	6	6	-
2	SO <sub>3</sub> % (maks)	3.5	4	4
3	Hilang Pijar % (maks)	5	5	-
4	Bagian tak Larut % (maks)	3	-	-
5	Kuat Tekan (min)			
	- 3 hari kg/cm <sup>2</sup>	125	125	125
	- 7 hari kg/cm <sup>2</sup>	200	200	200
	- 28 hari kg/cm <sup>2</sup>	280	250	250

(Sumber BSN 2004)

Dari sisi pelanggan baik pelanggan rumah tangga, industri beton maupun proyek, mereka menghendaki semen berkualitas baik dengan harga yang murah. Perusahaan perlu mengusahakan produk semen yang dihasilkan dengan harga murah dengan cara mengusahakan harga pokok yang rendah dalam memproduksi setiap ton semen, serta kapasitas produksi yang sesuai dengan target/standar peralatan. Harga bahan produksi semen, dipengaruhi oleh seberapa banyak klinker digunakan, pozzolan dan batu kapur yang ditambahkan serta jumlah *gypsum* yang ditambahkan sebagai *retarder* di dalam *Cement Mill*. Dalam perhitungan harga bahan di *Cement Mill*, maka klinker merupakan komponen biaya yang paling dominan yaitu sekitar 94% dari total harga bahan. Unit Produksi melakukan *Cost Reduction Program* yaitu program penggunaan klinker lebih sedikit dengan kualitas semen tetap memenuhi standar.

Upaya penghematan klinker juga sejalan dengan program perusahaan menuju *Green Proper* dan Industri Hijau, karena dengan menghemat klinker maka perusahaan telah mengurangi pelepasan karbon dioksida untuk setiap ton semen. Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan salah satu gas rumah kaca yang turut berperan dalam pemanasan global. Pabrik semen merupakan salah satu industri penghasil CO<sub>2</sub> terbesar sebagai dampak dari aktivitas produksi yang menggunakan bahan bakar fosil. Sebagai wujud kesadaran atas isu lingkungan tersebut diciptakan produk yang dikenal dengan *green product* seperti semen PPC dan PCC sebagai pengganti semen Type I yang umum digunakan masyarakat sejak dahulu.

Pada penelitian Rahmayanti [6] hanya membahas faktor-faktor dominan yang mempengaruhi kuat tekan. Penelitian ini akan dilanjutkan untuk melihat seberapa

besar parameter BTL, SO<sub>3</sub> dan LOI di *Cement Mill* akan berpengaruh harga bahan produksi dan kuat tekan yang dihasilkan. Dalam penentuan ini yang menjadi pembatas adalah spesifikasi standar internal terhadap kualitas semen, kualitas klinker yang bervariasi, kualitas pozzolan maupun batu kapur, keterbatasan *feeder*, jenis *Cement Mill* serta tingkat kesulitan material saat digiling.

PT Semen Padang melakukan penambahan batu kapur, pozzolan dan *gypsum* berdasarkan standar internal yang telah ada. Penelitian selama ini dilakukan berdasarkan *hystorical* data, penelitian pengaruh untuk satu atau dua parameter, dan melakukan *trial* dan *error* di laboratorium. Berdasarkan *study* literatur yang telah dilakukan penggunaan metoda Taguchi akan meminimalkan jumlah penelitian yang dilakukan dan dapat digunakan untuk beberapa faktor dan level penelitian. Dari penelitian yang dilakukan ditentukan proporsi optimal dari masing-masing material didalam produksi semen.

Dengan adanya kondisi optimal tersebut, dapat diputuskan jenis semen apakah yang diproduksi oleh PT Semen Padang yang secara ekonomis memberikan harga pokok yang rendah, dengan kuat tekan yang masih memenuhi persyaratan standar internal. Pada penelitian ini akan dilakukan penentuan proporsi optimal dengan menggunakan penggilingan semen di Laboratorium. Setelah diperoleh kondisi optimal akan dilanjutkan dengan analisa biaya produksi.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Proses Produksi dan Kualitas Semen

Semen (dalam bahasa Inggris *Cement*) berasal dari Bahasa Latin *Caementum* merupakan nama batu kapur di Italia lebih dari 2000 tahun, yang telah dipergunakan sebagai bahan adukan (mortar). Semen merupakan perekat hidraulis (*hydraulic binder*), yang berarti bahwa senyawa-senyawa mineral yang terkandung didalam semen dapat bereaksi dengan air dan membentuk zat baru yang bersifat sebagai perekat terhadap batuan. Oleh karena sifat hidraulis tersebut, maka semen bersifat dapat mengeras bila dicampur dengan air, tidak larut dalam air [2].

#### 2.1.1. Sejarah Perkembangan Semen

Semen pada awalnya dikenal pada

Zaman Mesir Kuno tahun 500 SM pada pembuatan piramida, yaitu sebagai pengisi ruang kosong diantara celah-celah tumpukan batu. Semen yang digunakan bangsa Mesir merupakan kalsinasi gypsum yang tidak murni, sedang kalsinasi batu kapur mulai digunakan pada zaman Romawi. Kemudian bangsa Yunani membuat semen dengan cara mengambil tanah vulkanik (*volcanic tuff*) yang berasal dari pulau Santoris yang dikenal sebagai *santoris cement*. Bangsa Romawi menggunakan semen yang diambil dari material vulkanik yang ada di pegunungan Vesuvius di lembah Napples yang dikenal sebagai *pozzolona cement*, yang diambil dari sebuah nama di Italia yaitu pozzoula. Penggunaan bahan perekat dalam konstruksi telah dipergunakan sejak zaman Mesir, Yunani dan Romawi kuno. Bahan perekat berupa batu-batuan inorganik seperti, kapur, gamping (*quick lime*), gypsum dan pozzolan akhirnya dikenal sebagai semen [3].

Setelah Revolusi Industri di Eropa pada pertengahan abad 18, dikembangkan penelitian-penelitian penting. Pada tahun 1756, John Smeaton seorang penemu Inggris menemukan batu kapur lunak yang tidak murni dan mengandung tanah liat merupakan bahan pembuat semen hidrolis yang bagus. Campuran itu dikenal sebagai *hydraulic lime* yang dipakai untuk membangun gedung Eddystore Lighthouse. Kemudian oleh Vicat ditemukan sifat hidrolis akan bertambah lebih baik jika ditambahkan alumina dan silika. Sehingga Vicat membuat kapur hidrolis dengan cara mencampur tanah liat dengan batu kapur dengan perbandingan tertentu [3].

Pada tahun 1797, James Parker seorang penemu Inggris menemukan suatu pembaharuan dengan membuat semen hidraulik dengan cara membakar batu kapur dan batuan silika. Semen inilah yang akhirnya dikenal dengan nama *Roman Cement* yang banyak dipakai pada periode tersebut. Tahun 1811, James Frost melanjutkan penelitian Vicat mulai membuat semen dengan mencampur dua bagian batu kapur dengan satu bagian tanah liat. Penelitian ini dilanjutkan dengan penambahan tanah *argillaceous* (mengandung 9-40% silika). Semen yang dihasilkan disebut British cement [3].

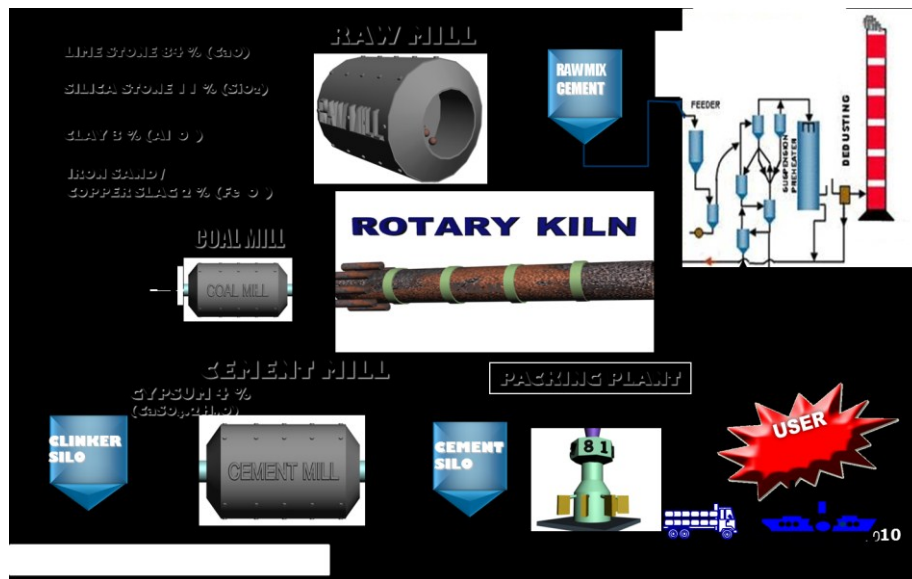
Tahun 1824 John Aspadin (Inggris) membuat paten tentang perbaikan cara

pembuatan batu buatan dengan cara kalsinasi campuran batu kapur dan tanah liat yang telah dihaluskan dan dibakar menjadi lelehan dalam tungku. Pada proses ini terjadi penguraian batu kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) menjadi kapur tohor ( $\text{CaO}$ ) dan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ). Kapur tohor ( $\text{CaO}$ ) bereaksi dengan senyawa-senyawa lain membentuk klinker, kemudian digiling menjadi tepung yang dikenal sebagai *Portland Cement*. Dalam produksi semen Portland, ada beberapa persenyawaan yang harus terdapat didalam bahan dasar, yaitu Oksida Kalsium ( $\text{CaO}$ ), Oksida Silika ( $\text{SiO}_2$ ), Oksida Aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan Oksida Besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) [3].

Dalam memproduksi semen PT Semen Padang menggunakan *dry process* dengan menggunakan 4 macam bahan dasar (*raw material*) [4] yaitu:

1. Batu Kapur  
Batu kapur ditambang sendiri dari Bukit Karang Putih merupakan sumber Oksida Kalsium dengan kualitas berkisar antara 49 – 54 %. Penggunaan batu kapur ini didalam pengolahan bahan dasar sebanyak 80 % berat.
2. Batu Silika  
Bahan ini ditambang sendiri di Bukit Ngalau merupakan sumber sumber oksida-oksida Silisium, Aluminium dan besi. Didalam pengolahan bahan dasar, batu silika ini diperlukan sebanyak 10% berat.
3. Tanah Liat/ *clay*  
Tanah liat (*clay*) dibeli dari masyarakat disekitar lokasi pabrik. Bahan ini digunakan sebagai sumber oksida aluminium dan oksida besi. Pemakaian tanah liat didalam pengolahan bahan dasar sebanyak 9% berat.
4. Pasir besi/ *copper slag*  
Sumber besi yang digunakan adalah pasir besi. Selain itu untuk *sustainability process* dan menuju Industri Hijau PT Semen Padang juga memanfaatkan limbah sebagai pengganti pasir besi yang ketersediaan sudah terbatas. Limbah yang digunakan *copper slag* dari Smelting Co. Gresik dan sampah kongkrit yang didatangkan dari Batam. Pemakaian bahan tambahan ini didalam pengolahan bahan dasar sebanyak 1 %.

Proses Produksi Semen seperti terlampir [4]:



Gambar 1. Proses Produksi

Dalam memproduksi semen diperlukan beberapa tahap yaitu [3]:

1. Proses Penggilingan Bahan Mentah di *Raw Mill*.

Keempat bahan-bahan mentah, dilakukan proses penggilingan didalam *Raw Mill*. Pada *Raw Mill* terjadi proses *mixing* dan proses *grinding*. Di dalam *Raw Mill* dilengkapi dengan *grinding* media yaitu penghancur sehingga didapatkan bubuk yang halus (*Rawmix/ Rawmeal*).

2. Proses pembakaran di Kiln.

Bahan bakar yang dipergunakan adalah batubara. Tujuan utama proses pembakaran adalah agar terjadi reaksi-reaksi kimia diantara oksida-oksida yang terdapat didalam *Raw mix*, yang akan berubah menjadi produk baru yang diberi nama Klinker. Untuk melaksanakan reaksi-reaksi tersebut secara sempurna dibutuhkan sejumlah panas/ *heat* yang banyak dan pada suhu yang tinggi. Tahapan proses yang terjadi pada pembakaran:

- Preheating*: terjadi proses pengeringan *rawmix* dan penguraian  $Al_2O_3$ .
- Calsinasi*: terjadi pada suhu  $600^{\circ}C$ , dimana pada proses ini terjadi pelepasan  $CO_2$  dari Carbonat yang ada.
- Pemijaran/ *Sintering*: terjadi pada suhu lebih kurang  $1440 - 1460^{\circ}C$  reaksi-reaksi antara oksida-oksida yang terdapat didalam bahan baku. Reaksi-reaksi tersebut akan

menghasilkan senyawa-senyawa potensial didalam klinker, yaitu  $C_4AF$ ,  $C_3A$ ,  $C_2S$  dan  $C_3S$ .

- Cooling*: proses pendinginan dilakukan secepatnya agar diperoleh klinker yang reaktif.

3. Proses Penggilingan Klinker di *Cement Mill*.

Klinker yang dihasilkan dari proses pembakaran selanjutnya mengalami proses penggilingan. Penambahan material ke 3 dan ke 4 di *cement mill*, bertujuan untuk menghemat pemakaian klinker dan meningkatkan sifat-sifat semen tersebut. Pada penggilingan klinker ini ditambahkan *gypsum* yang berfungsi sebagai Retarder.

### 2.1.2. Kualitas Semen

Dalam pemakaian semen beberapa hal parameter yang menjadi perhatian pada saat semen dipakai di lapangan [1] yaitu:

1. *Setting Time* (waktu pengikatan)

$C_3A$  akan bereaksi paling cepat menghasilkan  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3H_2O$  senyawa ini membentuk gel yang bersifat cepat set (kaku) sehingga akan mengontrol sifat *setting time*. Untuk mengontrol waktu pengikatan ditambahkan gypsum sebagai *Retarder* yang memperlambat proses pengikatan. Dalam prakteknya sifat set ini ditunjukkan dengan waktu pengikatan (*setting time*) yaitu waktu mulai dari adonan terjadi sampai mulai terjadi kekakuan.

Dikenal ada dua macam *setting time*, yaitu:

- a. *Initial setting time* (waktu pengikatan awal) ialah waktu mulai adonan terjadi sampai mulai terjadi kekakuan tertentu dimana adonan sudah mulai tidak *workable*.
  - b. *Final setting time* (waktu pengikatan akhir) ialah waktu mulai adonan terjadi sampai terjadi kekakuan penuh.
2. Kekuatan Tekan.  
Kekuatan tekan adalah sifat kemampuan menahan/ memikul suatu beban tekan. Kekuatan tekan adalah sifat paling penting yang harus dipunyai, disamping sifat-sifat yang lain yaitu kekuatan tarik dan kekuatan lentur. Kuat tekan merupakan parameter utama yang digunakan dalam pemasaran semen. Dalam industri beton sebagai salah satu parameter yang jadi acuan dalam memilih semen yang dipakai adalah seberapa nilai kuat tekan dan harga yang ditawarkan. Hal ini mendasari mengapa dalam penelitian difokuskan pengaruhnya terhadap kuat tekan.
  3. *Shrinkage*  
Pada proses pengeringan beton terjadi penguapan dari *Capillary water* yang menyebabkan terjadinya penyusutan dari volume beton atau *shrinkage*. *Shrinkage* ini dipengaruhi oleh: Komposisi semen, jumlah *mixing water*, *Concrete mix* dan *Curing condition*.
  4. Panas *Hydrasi*.  
Reaksi *hydrasi* komponen-komponen semen dengan air adalah *eksothermisi* dan panas yang dilepaskan persatuan berat di disebut "panas *hydrasi*". Beberapa jenis semen mensyaratkan panas *hydrasi* semen yang dibatasi terutama pada semen yang dibuat untuk struktur massa sehingga diperlukan semen dengan panas *hydrasi* rendah untuk menghindari retak rambut pada beton yang akan menyebabkan cacat dalam beton.
  5. *Durability* (Ketahanan Beton).  
Ketahanan beton atau *durability* Beton yang rusak oleh kondisi sekitarnya. Umumnya kerusakan pada beton di daerah-daerah tropis disebabkan oleh pengaruh asam, pengaruh sulfat dan

abrasi.

### 2.1.3 Faktor yang mempengaruhi Kuat Tekan semen

Dari beberapa hal kualitas semen yang *mandatory* dan akan dibahas dalam penelitian ini adalah Kuat Tekan Semen. Beberapa hal yang mempengaruhi kuat tekan semen adalah sebagai berikut [1]:

1. Kehalusan semen.  
Makin halus semen/ partikel-partikel semen, akan menghasilkan kekuatan tekan yang tinggi. Hal ini karena makin luasnya permukaan yang bereaksi dengan air dan kontak dengan agregat.
2. Komposisi Kimia.  
C<sub>3</sub>S memberikan kontribusi yang besar pada perkembangan kekuatan awal, sedangkan C<sub>2</sub>S memberikan kontribusi kekuatan tekan pada umur yang lebih panjang. C<sub>3</sub>A mempengaruhi kekuatan tekan sampai pada tingkat tertentu, pada umur 28 hari dan pengaruh ini makin kecil sampai pada nol pada umur setelah satu atau dua tahun. C<sub>4</sub>AF tidak mempengaruhi kekuatan tekan terlalu banyak. MgO tidak memberikan kontribusi yang berarti pada pengembangan kekuatan tekan. Bahkan akan mengakibatkan ekspansi yang halus, berupa retak-retak rambut, apabila kandungan MgO dalam semen cukup tinggi.
3. *Loss On Ignition*  
Jumlah *loss on Ignition* (LOI) atau hilang pijar ditambahkan akan mempengaruhi kuat tekan semen. Selain itu nilai LOI yang bertambah pada penyimpanan akan mengindikasikan penurunan kuat tekan disebabkan terjadi *prehydrasi* pada semen.
4. Jumlah *Gypsum* yang ditambahkan (SO<sub>3</sub> dalam semen)  
*Gypsum* yang ditambahkan selain mempengaruhi *setting time* akan berpengaruh pada kuat tekan.

Banyak penelitian yang telah dilakukan sehubungan faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan semen dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

**Tabel 2.** Penelitian Sebelum Untuk Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan

No.	Author	Faktor yang mempengaruhi kuat tekan						
		Komposisi Kimia	C3S	BTL	LOI	SO3	Blaine	Sieving
1	Rahmayanti(2013)		X		X	X		
2	Tsamasoulis (2012)						X	X
3	Thongsanitgarn (2011)				X			
4	Goyal (2013)			X				
5	Guemadi (2009)				X			
6	Said (2008)				X			
7	Yasin (2012)			X				
8	Yilmaz (2003)	X	X	X			X	X
9	Kusdiyono (2012)			X				
10	Maryoto (2008)			X				
11	Nikmatus Solikha (2012)			X			X	X
12	Yulia Cahya Reni				X			
13	Widjoko (2010)	X	X					
14	Nelvi (2014)			X	X	X		

Dari tabel diatas telah dilakukan berbagai penelitian untuk parameter yang mempengaruhi kuat tekan semen. Akan tetapi pengaruh untuk 3 parameter LOI, SO<sub>3</sub> dan BTL belum ada yang melakukan. Pengaruh bermacam-macam parameter

biasanya dilakukan secara partial untuk masing-masing parameter. Sekarang ini akan dilakukan kombinasi 3 parameter untuk menghasilkan kuat tekan optimal. Rincian penelitian dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini:

**Tabel 3.** *State of the Art* Penelitian

Peneliti	Tahun	Metoda	Hasil
Rahmayanti, et al	2013	Regresi linear	Penentuan faktor penting dalam kuat tekan yaitu kualitas klinker C3S, LOI dan SO3
Tsamatsoulis, et al	2012	Control Chart	Kuat tekan diprediksi dengan model matematika berdasarkan jumlah klinker, kehalusan semen (blaine dan sieve on)
Thongsanitgarn, et al	2011	Regresi linear	Variasi kehalusan dan jumlah batu kapur (LOI) dan pengaruhnya pada pencapaian kuat tekan
Goyal, et al	2013	Experimental research	Jumlah pozzolan berpengaruh pada kuat tekan beton dalam berbagai kondisi curing
Guemmadi, et al	2009	Modeling, Experimental research	Penambahan batu kapur berpengaruh pada kuat tekan dan biaya, penambahan batu kapur sd 42 %
Kenai, e al	2008	Experimental research	Penambahan batu kapur berpengaruh pada kuat tekan dan biaya.
Yasin, et al	2012	Experimental research	Penentuan penambahan tanah vulkanik optimal terhadap kuat tekan beton. Penambahan optimal adalah 20 %
Yilmaz, et al	2003	Experimental research	Menentukan hubungan antara kuat tekan dengan komposisi kimia semen OPC dan PPC (semen dengan penambahan kuat tekan)
Kusdiyono, et al	2012	Experimental research, regresi linear	Penambahan fly ash akan mempengaruhi kuat tekan beton (penambahan sampai dengan 20%)
Maryoto, et al	2008	Experimental research	Pengaruh penambahan fly ash terhadap kuat tekan semen dan biaya produksi
Nikmatus Solikha, et al	2012	Artificial neural network, model komputasi dengan back propogation	Hubungan kehalusan, SAI, berat jenis fly ash terhadap kekuatan tekan semen menggunakan 3 kelompok data.
Yulia Cahya Reni	2008	Experimental research	Hubungan penambahan kalsium oksida terhadap kuat tekan dan panas hydrasi semen. Kuat tekan semen akan menurun dengan penambahan CaO
Widjojoko, et al	2010	Experimental research	Pengaruh komposisi senyawa mineral (komposisi kimia) terhadap kekuatan tekan semen
Haumahu, et al	2011	Metoda Taguchi : orthogonal array	perancangan toleransi dengan fungsi kerugian kualitas Taguchi antara kualitas dan biaya. Uji ANOVA untuk menentukan faktor signifikan serta untuk mengetahui besar kontribusi setiap faktor pada variabilitas total.
Mehat, et al	2011	Metoda Taguchi : orthogonal array	Optimasi terhadap multirespon parameter untuk penentuan stenght dan flexural terhadap proses moulding
Dabholkar, et al	2012	Metoda Taguchi : orthogonal array	Penggunaan metoda taguchi pada penentuan faktor abrasif pada proses plating
Jahanshahi, et al	2008	Metoda Taguchi : orthogonal array	Optimasi parameter dalam pembuatan gelatin, menggunakan ANOVA, mean S/N ratio
Turkmen, et al	2002	Metoda Taguchi : orthogonal array	Penggunaan metoda Taguchi dalam penetapan kondisi optimum mekanik pada beton mutu tinggi beton dg penambahan silika fume dan BFS, menggunakan ANOVA.
Sidi, et al	2013	Metoda Taguchi : orthogonal array	Aplikasi metoda Taguchi pada mesin bubut, menggunakan ANOVA.



## 2.2. Pozzolan dan Batu kapur di dalam semen

Pozzolan adalah bahan material yang mengandung silika dan alumina yang berbentuk halus dan lembab. Pozzolan bereaksi dengan kapur pada temperatur biasa untuk menghasilkan senyawa semen seperti kalsium silikat hidrat, kalsium alumina hidrat dan sulfoaluminate hidrat. Pozzolan telah digunakan selama berabad-abad sejak zaman Yunani dan Romawi Kuno. Struktur yang dibangun menggunakan pozzolan berumur lebih dari 2500 tahun yang lalu masih tetap dalam kondisi sangat baik, misalnya, saluran air Romawi dan tangki penyimpanan air di Yunani. Semen Portland yang dicampur dengan pozzolan alami atau buatan telah digunakan secara luas di seluruh dunia [20].

Pozzolan dibagi menjadi lima menurut sumbernya, yaitu [9]:

1. Pozzolan alam, produk abu dari aktivitas vulkanik.
2. Pozzolan dari pembakaran dan penghancuran tanah liat, seperti batubata. Material ini lebih tahan lama dibandingkan pozzolan vulkanik.
3. *Furnace slag* dari proses industri seperti pabrik baja. Material ini digunakan sebagai *concrete admixture*.
4. *Organic ash* yang diproduksi dari pembakaran batubara dan batu kapur. Material ini mempunyai kualitas lebih rendah daripada jenis yang lain dan tidak cocok digunakan untuk *brick* dan mortar.
5. Pozzolan yang diproduksi dari pemecahan batu dan pasir, namun sudah tidak digunakan untuk saat sekarang ini.

Penambahan pozzolan pada produksi semen dibuat dengan dua cara yaitu klinker dan pozzolan digiling secara terpisah kemudian dilakukan pencampuran. Cara berikutnya adalah semen dan klinker digiling secara bersamaan [20].

Campuran semen dan pozzolan menunjukkan proses reaksi yang berbeda dan bereaksi pada usia yang berbeda. Reaksi pozzolan menjadi jelas setelah 7-15 hari sejak pencampuran terjadi [20]. Perubahan sifat semen karena penambahan pozzolan adalah sebagai berikut:

1. Menurunkan sifat permeabilitas semen
2. Mengurangi perubahan volume akibat perubahan temperatur
3. Mengurangi panas hydrasi semen
4. Mengurangi segregasi dan bleeding beton.
5. Meningkatkan ketahanan terhadap pembekuan dan serangan kimia.

6. Meningkatkan kekuatan tekan semen jangka panjang
7. Meningkatkan *workability* beton segar
8. Memberikan manfaat secara ekonomi yaitu penurunan biaya produk dan konsumsi energi.

Selain penambahan pozzolan, saat ini batu kapur telah banyak digunakan untuk sebagai material tambahan atau menggantikan komponen semen. Semen dengan tambahan batu kapur adalah semen portland kapur dan semen portland komposit semen.

Batu kapur adalah batuan sedimen berkapur yang mengandung kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) atau dikenal dengan kalsit. Kapur digunakan dalam semen dan beton untuk berbagai keperluan, yaitu sebagai baku bahan untuk produksi klinker dan sebagai agregat kasar atau halus. Kapur halus dari penggilingan batu kapur alam telah banyak digunakan sebagai bahan tambahan dalam produksi semen portland. Penambahan batu kapur akan meningkatkan laju *hydrasi* senyawa mineral dalam semen, akan meningkatkan kuat tekan awal semen, *durability* (daya tahan) dan *workability* semen [19].

## 2.3. Perhitungan Biaya Produksi Semen

Dalam memperhitungkan biaya produksi dalam penelitian ini lebih difokuskan pada harga bahan yang digunakan dalam memproduksi semen. Bahan-bahan yang digunakan di *Cement Mill* adalah:

1. Klinker
2. *Gypsum*
3. Batu kapur
4. Pozzolan

Dengan penelitian ini akan diperoleh proporsi masing-masing bahan yang digunakan. Dengan menggunakan data biaya produksi yang diperoleh dari sistem SAP maka diperoleh biaya produksi untuk masing-masing kombinasi penelitian.

## 2.4. Metoda Taguchi

Taguchi (1986) menyatakan kualitas merupakan kerugian yang diterima masyarakat setelah produk dikirimkan. Sejak tahun 1960 metoda Taguchi telah berhasil digunakan untuk meningkatkan kualitas produk Jepang. Selama tahun 1980an banyak perusahaan telah beralih dari metoda lama untuk pemastian kualitas. Metoda lama memastikan kualitas dengan inspeksi dan membuang produk yang tidak

memenuhi persyaratan keberterimaan [10,11]. Untuk itu Taguchi menyatakan bahwa kualitas produk harus didesain dari awal.

Filosofi Metode Taguchi terhadap kualitas terdiri dari tiga buah konsep yaitu [10,12]:

1. Kualitas produk harus didesain dan bukan sekedar memeriksanya.
2. Kualitas terbaik dapat dicapai dengan meminimalkan deviasi dari target, produk harus didesain secara *Robust* terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
3. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari *standart* tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh tahapan hidup produk.

Metode Taguchi adalah usaha peningkatan kualitas yang dikenal sebagai metode *off-line quality control* yang berfokus pada peningkatan rancangan produk dan proses [13]. Metode ini bertujuan untuk menghasilkan produk yang lebih tangguh (*robust*) sehingga sering disebut sebagai metode *Robust Design*.

Metode Taguchi berupaya mengoptimalkan desain produk dan proses sehingga performansi akhir akan sesuai dengan target dan mempunyai nilai variabilitas yang minimum. Metode ini juga digunakan dalam perekayasaan dan peningkatan kualitas dengan cara membuat rancangan percobaan untuk menemukan penyebab utama yang mempengaruhi karakteristik kualitas dalam proses. Dengan mengetahui penyebab ini maka variabilitas karakteristik kualitas dapat dikendalikan. Dengan metode ini, diperoleh kombinasi terbaik antara unit produk dan unit proses pada tingkat keseragaman data yang tinggi untuk mencapai karakteristik kualitas terbaik dengan biaya yang rendah. [13,17].

Metode Taguchi sangat efektif dalam meminimalkan pengaruh variasi dalam respon disebabkan pengaruh *multivariables*. Penggunaan metode Taguchi menurunkan secara signifikan jumlah percobaan, dibandingkan dengan desain faktorial pada percobaan tradisional [15,18]. Untuk merancang penelitian optimasi umumnya dilakukan dengan cara mempelajari desain parameter satu per satu atau dengan trial and error sampai desain layak ditemukan [11]. Bila mutu suatu produk semakin dekat dengan nilai target maka mutu yang dihasilkan semakin baik [18].

Taguchi (1986) dalam Unal (1991) menyatakan 3 tahapan dalam mendesain kualitas yaitu desain sistem, desain parameter dan desain toleransi [12]:

#### 1. Desain Sistem

Desain sistem melibatkan pengembangan sistem untuk fungsi tahap awal. Desain sistem membutuhkan pengetahuan teknis dari ilmu pengetahuan dan *engineering*.

#### 2. Desain parameter

Tujuan desain parameter adalah untuk memilih tingkat optimal untuk parameter sistem terkontrol sehingga dihasilkan produk yang fungsional, dengan tingkat kinerja yang tinggi dalam berbagai kondisi, dan tahan terhadap faktor *noise* yang menyebabkan variabilitas.

#### 3. Desain toleransi

Kontribusi Taguchi pada kualitas adalah:

1. *Loss function* merupakan fungsi kerugian yang ditanggung oleh masyarakat baik oleh produsen maupun konsumen sebagai akibat kualitas yang dihasilkan. Bagi produsen dengan timbulnya biaya kualitas sedangkan bagi konsumen adalah adanya ketidakpuasan terhadap produk yang dibeli karena kualitas yang jelek [17].
2. *Orthogonal Array* (OA) merupakan salah satu bagian kelompok dari percobaan yang hanya menggunakan bagian dari kondisi total, di mana bagian ini barangkali hanya separuh, seperempat atau seperdelapan dari percobaan faktorial penuh. OA digunakan untuk mendesain percobaan, menganalisis data percobaan, menentukan jumlah minimal eksperimen yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin terhadap faktor yang mempengaruhi parameter. Keuntungan OA adalah kemampuannya untuk mengevaluasi berapa faktor dengan jumlah tes yang minimum sehingga menghemat waktu dan ongkos percobaan. [13]. Bagian terpenting dari orthogonal array terletak pada pemilihan kombinasi level dari variabel-variabel input untuk masing-masing eksperimen [17].
3. *Robustness* bertujuan untuk meminimasi sensitivitas sistem terhadap sumber-sumber variasi [17].
4. *Faktor Noise* adalah faktor yang tidak dapat dikendalikan atau terlalu mahal untuk mengontrol. Faktor *Control*/ faktor yang dikendalikan adalah faktor parameter yang dapat diatur dan dipelihara/ fitur desain [17].

Fungsi kerugian mutu dapat digambarkan dengan fungsi kuadrat yang terdiri atas 3 macam yaitu [18]:

#### 1. Nominal terbaik (*nominal the best*)

Digunakan bila karakteristik mutu

mempunyai nilai target tertentu, biasanya bukan nol. Kerugian mutu dihitung simetris pada kedua sisi target.

2. Semakin kecil semakin baik (*smaller the better*)  
Digunakan bilamana karakteristik mutunya tidak negatif, idealnya nol.
3. Semakin besar semakin baik (*larger the better*)  
Digunakan bilamana karakteristik mutu yang dikehendaki semakin besar nilainya semakin baik.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang termasuk dalam penelitian Eksperimental dimana dalam mengetahui hubungan sebab akibat antara variabel-variabel penelitian dilakukan suatu proses percobaan untuk mendapatkan hasil yang presisi. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini:

#### 3.1. Studi Pendahuluan

Sebelum menyusun usulan penelitian, dilakukan untuk memahami sistem yang dilakukan dengan cara mempelajari hal-hal penting dalam sistem seperti proses bisnis dan proses produksi.

#### 3.2. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan bahan literatur dan informasi berkaitan dengan judul penelitian.

#### 3.3. Penetapan Masalah

Masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan proporsi optimal material tambahan di dalam memproduksi semen dengan pendekatan Taguchi dan seberapa besar pengaruh parameter kualitas BTL, LOI dan  $SO_3$  di *Cement Mill* terhadap kualitas semen yang dihasilkan dan biaya produksi.

#### 3.4. Penetapan Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan proporsi campuran semen yang menghasilkan kuat tekan yang optimal dan biaya produksi dengan menggunakan pendekatan Taguchi.

2. Menentukan jenis semen yang paling menguntungkan diproduksi dari segi kualitas dan biaya produksi sehingga menjadi dasar dalam perencanaan jenis semen yang akan diproduksi.

### 3.5. Perancangan Experimental

#### 3.5.1. Identifikasi Variabel

Berdasarkan permasalahan yang ada serta tujuan dari penelitian, maka dilakukan identifikasi variabel kualitas yang diinginkan pelanggan dan faktor-faktor yang mempengaruhi pencapaian kualitas tersebut.

#### 3.5.2. Penetapan Variabel Respon

Dari bermacam-macam variabel yang sudah diidentifikasi, ditetapkan variabel respon yang akan menjadi variabel dalam penelitian. Variabel yang diukur dalam penelitian adalah kuat tekan semen pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari menggunakan standar SNI 15-2049-2004.

#### 3.5.3. Penetapan Karakteristik Kualitas

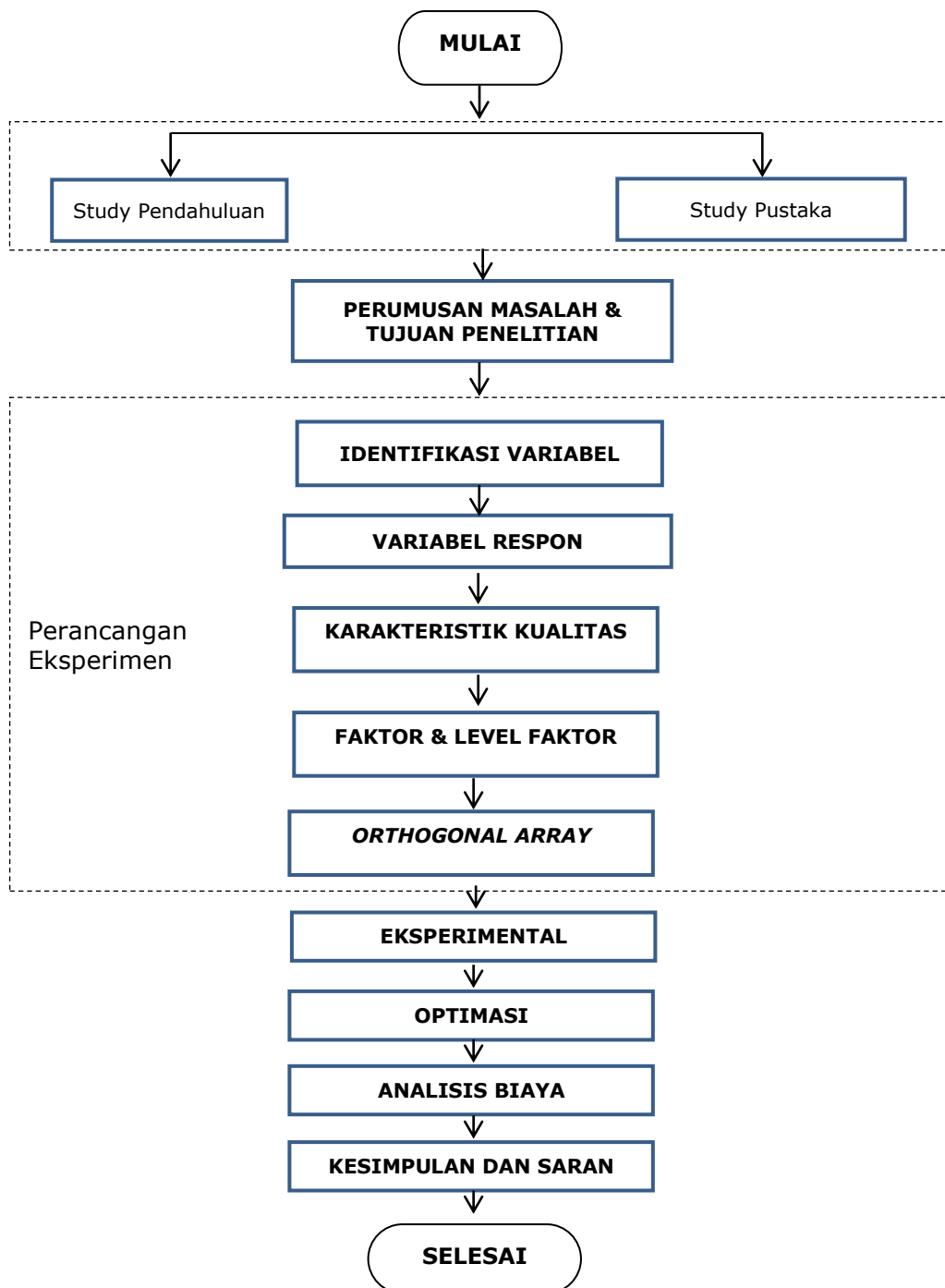
Karakteristik kualitas ditentukan berdasarkan variabel respon yang telah ditetapkan. Karakteristik kualitas adalah berdasarkan Taguchi adalah *Larger The Better* (LTB).

#### 3.5.4. Penentuan Faktor dan Level

Dalam penentuan faktor berdasarkan parameter-parameter yang paling signifikan berdasarkan penelitian sebelum ini serta hasil studi literatur. Terdapat 3 faktor dalam penelitian ini yang mempengaruhi kuat tekan umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari yaitu:

1. Kadar bagian tak larut semen (BTL) yang akan menunjukkan jumlah material Pozzolan yang ditambahkan pada produksi semen.
2. Kadar hilang pijar/ *loss on ignition* (LOI) yang akan menunjukkan jumlah material batu kapur yang ditambahkan pada produksi semen.
3. Kadar *sulfur trioxide* ( $SO_3$ ) yang akan menunjukkan jumlah material *gypsum* yang ditambahkan pada produksi semen.

Untuk tingkatan level ditentukan berdasarkan *historical data* dan persyaratan kimia sesuai persyaratan standar SNI.



**Gambar 2.** Skema Metodologi Penelitian

### 3.5.5. Pemilihan Matrik Orthogonal Array

Pemilihan matrik *Orthogonal Array* berdasarkan pada jumlah faktor dan jumlah level yang akan menjadi dasar dalam pelaksanaan eksperimen di Laboratorium. Penetapan *Orthogonal Array* berdasarkan

jumlah faktor dan jumlah level yang ada serta interaksi masing-masing faktor dengan bantuan *Software MiniTab*.

### 3.6. Eksperimental

Penelitian dan pengujian dilakukan di

Laboratorium Jaminan Kualitas & Pelayanan Teknis PT Semen Padang. Dengan proporsi penelitian yang telah ditentukan dilakukan pembuatan semen di mini mill Laboratorium dan pengujian kuat tekan 3 hari, 7 hari dan 28 hari untuk setiap variasi. Data-data tersebut yang akan dilakukan evaluasi lebih lanjut.

### 3.7. Optimasi

Pengolahan data dilakukan dengan cara melakukan perhitungan dan formulasi model statistik seperti *Analysis of Variance* (ANOVA), *S/N ratio* dan perhitungan faktor optimal. Semua data dianalisa menggunakan *software MiniTab*.

### 3.8. Analisis Biaya

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap biaya produksi untuk semua kombinasi penelitian. Dari pengolahan data dilakukan analisa dan interpretasi terhadap hasil, guna menjawab tujuan dilaksanakan penelitian. Pada keputusan akhir yang menjadi salah satu bobot relatif dalam penelitian adalah biaya produksi yang terendah dan kualitas kuat tekan yang dihasilkan tetap optimum.

### 3.9. Kesimpulan dan Saran

Tahap akhir penelitian adalah kesimpulan dan saran hal ini menjadi dasar bagi Manajemen PT Semen Padang dalam menentukan target penambahan material yang memperhatikan kuat tekan dan biaya produksi. Serta saran untuk penentuan jenis semen yang diproduksi serta perbaikan terhadap standar internal bahan dan produk PT Semen Padang.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN (USULAN PENELITIAN)

### 4.1. Rancangan Penelitian

Berdasarkan Metodologi Penelitian diperoleh 3 faktor dalam penelitian ini yang mempengaruhi variabel respon kuat tekan yaitu:

1. Kadar bagian tak larut semen (BTL) yang akan menunjukkan jumlah material Pozzolan yang ditambahkan pada produksi semen.
2. Kadar hilang pijar/ *loss on ignition* (LOI) yang akan menunjukkan jumlah material batu kapuryang ditambahkan pada produksi semen.
3. Kadar *sulfur trioxide* ( $SO_3$ ) yang akan

menunjukkan jumlah material gypsum yang ditambahkan pada produksi semen.

Untuk tingkatan levelnya dapat dilihat pada Tabel berikut ini:

**Tabel 4.** Faktor dan Level Penelitian

Faktor	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Bagian Tak Larut (%)	4,00	6,00	8,00	10,00
Hilang Pijar (%)	2,00	4,00	6,00	8,00
$SO_3$ (%)	1,25	1,50	1,75	2,00

Dari jumlah faktor dan level sesuai Tabel 3 diatas, dilakukan penghitungan matrik *Orthogonal Array* yang dilakukan dengan bantuan *Software MiniTab* 14 dan diperoleh *Orthogonal Array* penelitian adalah L16 ( $4^{**}3$ ). Detil Eksperimen yang dilakukan sesuai dengan Tabel 5 berikut ini:

**Tabel 5.** Matrik Orthogonal Array Penelitian

Run	Bagian Tak Larut	Hilang Pijar	$SO_3$
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	1	4	4
5	2	1	2
6	2	2	1
7	2	3	4
8	2	4	3
9	3	1	3
10	3	2	4
11	3	3	1
12	3	4	2
13	4	1	4
14	4	2	3
15	4	3	2
16	4	4	1

Dari Tabel 5 diatas akan dilakukan percobaan pembuatan semen dengan 16 variasi dengan rencana semen yang akan diproduksi adalah sebagai berikut:

**Tabel 6.** Rencana Kualitas Semen yang Diteliti

Run	Bagian Tak Larut (%)	Hilang Pijar (%)	SO <sub>3</sub> (%)
1	4,00	2,00	1,25
2	4,00	4,00	1,50
3	4,00	6,00	1,75
4	4,00	8,00	2,00
5	6,00	2,00	1,50
6	6,00	4,00	1,25
7	6,00	6,00	2,00
8	6,00	8,00	1,75
9	8,00	2,00	1,75
10	8,00	4,00	2,00
11	8,00	6,00	1,25
12	8,00	8,00	1,50
13	10,00	2,00	2,00
14	10,00	4,00	1,75
15	10,00	6,00	1,50
16	10,00	8,00	1,25

Untuk itu dilakukan penyiapan dan pengujian material yang akan digunakan dalam penelitian. Material yang digunakan adalah klinker, gypsum, pozzolan dan batu kapur. Data kualitas material yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 7 berikut ini:

**Tabel 7.** Data Kualitas Material

Parameter	Klinker	Gypsum	Pozzolan	Batu kapur
SiO <sub>2</sub> %	23,22	3,67	77,55	5,65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	6,56	0,22	12,43	0,78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	4,97	0,22	3,32	0,37
CaO %	71,43	29,56	3,18	51,26
MgO %	1,74	0,02	0,43	0,3
H <sub>2</sub> O %	0,00	8,00	12,00	4,00
SO <sub>3</sub> %	0,35	43,99	0,00	0,00
BTL %	0,2	4,2	90,0	8,2
LOI %	0,00	19,00	2,50	40,61

Dari Tabel 7 data kualitas material yang dipakai maka dihitung proporsi masing-masing material agar diperoleh semen yang direncanakan sesuai dengan Tabel 6. Data proporsi material adalah sebagai berikut:

**Tabel 8.** Proporsi Masing-Masing Material

Run	% Klinker	% Pozzolan	% Batu Kapur	% Gypsum
1	90	4	4	2
2	85	4	9	3
3	80	3	13	4
4	75	3	18	4
5	87	7	3	3
6	83	6	9	2
7	77	6	13	4
8	73	5	18	4
9	84	9	3	4
10	79	9	8	4
11	76	8	14	2
12	71	8	18	3
13	82	12	3	4
14	77	11	8	4
15	73	11	13	3
16	69	10	18	2

### a. Tahapan Eksperimental

Dengan proporsi yang ada dilakukan pembuatan semen di *mini mill* yang dimiliki Laboratorium Jaminan Kualitas & Pelayanan Teknis PT Semen Padang. Sekarang sedang dalam tahapan pengujian kuat tekan 3 hari, 7 hari dan 28 hari untuk setiap variasi.

Setelah dilakukan pengujian kuat tekan semen yang merupakan variabel respon dilanjutkan optimasi melakukan perhitungan dan formulasi model statistik seperti Analisis of Variance (ANOVA), S/N ratio dan perhitungan faktor optimal. Semua data dianalisa menggunakan *Software MiniTab*. Akan dilakukan pemilihan metoda analisa statistik yang sesuai. Pada analisa ini terdapat berbagai pembatas dalam analisa data yaitu minimum target kuat tekan yang dapat diterima yang mengacu pada spesifikasi standar internal perusahaan, jumlah material (komposisi kimia gabungan pada semen) yang digunakan mengacu pada persyaratan standar dan kapasitas *feeder* diperalatan yang membatasi jumlah maksimum/ minimum material dipakai.

Setelah diperoleh beberapa proporsi yang memenuhi persyaratan, dilakukan analisa biaya produksi. Analisa biaya produksi adalah biaya material yang digunakan dalam memproduksi semen. Karena biaya masing-masing material yang jauh berbeda, maka yang menjadikan keputusan proporsi material tambahan yang dipakai adalah kuat tekan optimal dan biaya produksi rendah.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam penelitian ini diharapkan akan akan diperoleh kesimpulan bahwa parameter bagian tak larut (BTL), hilang pijar (LOI) dan SO<sub>3</sub> semen mempengaruhi kuat tekan semen. Masing-masing parameter dengan berbagai level dengan menggunakan metoda Taguchi diperoleh jumlah penelitian yang dilakukan dan proporsi masing-masing parameter. Dari proporsi parameter berdasarkan kualitas material diperoleh proporsi klinker, pozzolan, batu kapur dan *gypsum* untuk masing-masing *running* penelitian. Dengan pembuatan semen skala laboratorium dilakukan pengujian kuat tekan umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari. Dari hasil kuat tekan dan biaya masing-masing material dilakukan perhitungan statistika untuk menentukan kuat tekan optimal dan biaya produksi rendah.

Dari hasil penelitian dapat disarankan ke perusahaan, proporsi material yang optimal untuk perubahan spesifikasi standar internal dan menjadi dasar memutuskan jenis produk yang sebaiknya diproduksi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. L. Smidth, "Quality of Cement", *International Cement Production Seminar*, lecturer 6.4, 1996
- [2] Lea., Peter C Hewlett (ed), *Chemistry of Cement and Concrete, four edition*, London: Butterworth-Heinemann, 2001.
- [3] W. H. Duda, "Cement Data Book", *International Process Engineering in the Cement Industry, 2nd edition*, London: Macdonald & Evans, 1976.
- [4] PT Semen Padang, *Pengenalan Produk dan Pelayanan Teknis [brosur]*, PT Semen Padang, Padang, 2013.
- [5] British Standard, "BS EN 197-2000, Cement-Part 1: Composition, specification and conformity criteria for common cement", BSI publishing, 2000.
- [6] D. Rahmayanti, Dina., N.T. Putri, P. Fitri, "Determinating significant factors influencing cement compressive strength at Padang Cement company", *Proceeding of the 13th International Conference on QIR (Quality in Research)*, 25-28 June, Yogyakarta, Indonesia, pp. 1399-1405, 2013.
- [7] BSN, "Portland Pozzoland Cement SNI 15-0302-2004", National Standardization Bodies, 2004.
- [8] BSN, "Portland Composite Cement SNI 15-7064-2004", National Standardization Bodies, 2004.
- [9] S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, *Design and Control of Concrete Mixtures, fourteenth edition*, chapter 3, Portland Cement Association, 2003.
- [10] T. W. Simpson, R. A. Wysk, B. W. Niebel, P. H. Cohen, *Manufacturing Processes: Integrated Product and Process Design*, McGraw Hill, New York, 2000.
- [11] G. Taguchi, S. Chowdhury, S. Taguchi, *Robust Engineering*, Mc.Graw-Hill, 1996.
- [12] R. Unal, E. B. Dean, "Taguchi approach to design optimization for quality and cost: An overview", *Annual Conference of the International Society of Parametric Analysts*, 1991.
- [13] P. W. Haumahu, T. Wuryandari, "Optimalisasi produk dengan menggunakan metode perancangan Toleransi Taguchi", *Prosiding Seminar Nasional Statistika*, Universitas Diponegoro, ISBN: 978-979-097-142-4, 304, 2011.
- [14] N. M. Mehat, S. Kamaruddin, "Multi-Response Optimization of Injection Moulding Processing Parameters Using the Taguchi Method", *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 50, pp. 1519-1526, 2011.
- [15] A. Dabholkar, M. M. Sundaram, "Study of Micro-Abrasive Tool-Making by Pulse Plating Using Taguchi Method and School of Dynamic Systems", *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 27, pp. 1233-1238, 2012.
- [16] I. Turkmena, R. Gul, Rustem, C. Celik, R. Demirboga, "Determination By The Taguchi Method Of Optimum Conditions For Mechanical Properties Of High Strength Concrete With Admixtures Of Silica Fume And Blast Furnace Slag", *Civil Engineering and Environmental Systems*, vol. 20, no. 2, pp. 105-118, 2003.
- [17] P. Sidi, Pranowo, M. T. Wahyudi, "Aplikasi Metoda Taguchi Untuk Mengetahui Optimasi Kebulatan Pada Proses Bubut CNC", *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol.4, No.2, pp. 101-108, 2003.
- [18] D. Wahjudi, G. S. San, Y. Pramono, "Optimasi Proses Injeksi dengan Metode Taguchi", *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 3, No. 1, pp. 24-28, 2001.
- [19] P. Thongsanitgarn, W. Wongkeo, S. Sinthupinyo, A. Chaipanich, "Effect of Limestone Powders on Compressive Strength and Setting Time of Portland-Limestone Cement Pastes", *TICHe International Conference*, November

10-11, 2011 at Hatyai, Songkhla Thailand, 2011.

- [20] A. Yilmaz, "Relationship Between Compressive And Chemical Compositions Of Portland And Pozzolanic Cements", Sains dan Teknologi BAU. Instrument Magazine, Balikesir University, 5.2, 2003.