

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Semen

Semen berasal dari kata *caementum* (bahasa latin) yang artinya memotong menjadi bagian-bagian kecil tak beraturan. Sedangkan dalam pengertiannya semen adalah zat yang digunakan untuk merekatkan batu bata, batako maupun bahan bangunan lainnya. (Wikipedia.com/Semen).

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia semen adalah serbuk atau tepung yang terbuat dari kapur dan material lainnya yang dipakai untuk membuat beton, merekatkan batu bata ataupun membuat tembok.

Semen adalah perekat hidraulik yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari bahan utama silikat-silikat kalsium dan bahan tambahan batu gypsum dimana senyawa-senyawa tersebut dapat bereaksi dengan air dan membentuk zat baru bersifat perekat pada bebatuan.

Semen dalam pengertian umum adalah bahan yang mempunyai sifat *adhesive* dan *cohesive*, digunakan sebagai bahan pengikat (*bonding material*), yang dipakai bersama-sama dengan batu kerikil dan pasir.

Semen dapat dibagi atas dua kelompok, yaitu:

- a. Semen *non hidraulis* adalah semen yang tidak dapat mengeras dalam air atau tidak stabil dalam air. Contoh semen *non hidraulis (hydraulic binder)* adalah *lime* dimana *lime* ini merupakan perekat klasik dalam bangunan yang dibuat dengan memanaskan *limestone* pada suhu 850°C. CaCO_3 dari *limestone* akan melepaskan CO_2 dan menghasilkan *burn lime* atau *quick lime* (CaO).



Produk ini bereaksi cepat dengan air menghasilkan Ca(OH)_2 dalam butiran yang halus dan Ca(OH)_2 ini tidak dapat mengeras dalam air tetapi dapat mengeras bila bereaksi dengan CO_2 dari udara membentuk CaCO_3 kembali.

- b. Semen *hidraulis* adalah semen yang dapat mengeras dalam air menghasilkan padatan yang stabil dalam air. Oleh karena mempunyai sifat *hidraulis*, maka semen tersebut bersifat:
 - Dapat mengeras bila dicampur air

- Tidak larut dalam air
- Dapat mengeras walau didalam air

Contoh semen *hidraulis* adalah semen Portland, semen campur, semen khusus dan sebagainya.

2.1.1. Jenis-Jenis Semen

a. Semen Putih (*Gray Cement*)

Semen putih adalah semen yang lebih murni dari semen abu dan digunakan untuk pekerjaan penyelesaian (*finishing*), seperti sebagai *filler* atau pengisi. Semen jenis ini dibuat dari bahan utama kalsit (*calcite*) *limestone* murni.

b. Semen Sumur Minyak (*Oil Well Cement*)

Semen sumur minyak adalah semen khusus yang digunakan dalam proses pengeboran minyak bumi atau gas alam, baik di darat maupun di lepas pantai.

c. Semen Portland

Semen portland ialah semen hidrolisis yang dihasilkan dengan cara menghasilkan klinker terutama dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolisis (dapat mengeras jika bereaksi dengan air) dengan gips sebagai bahan tambahan. Semen merupakan bahan pengikat yang paling terkenal dan paling banyak digunakan dalam proses konstruksi beton. Semen yang umum dipakai adalah semen tipe I dan ketergantungan kepada pemakaian semen jenis ini masih sangat besar. Semen portland jika dilihat dari sisi fungsi masih memiliki kekurangan dan keterbatasan yang pada akhirnya akan mempengaruhi mutu mortar.

Pada dasarnya semen portland terdiri dari 4 unsur yang paling penting, yaitu:

1. Trikalsium Silikat (C_3S) atau $3CaO.SiO_2$

Sifatnya hampir sama dengan sifat semen yaitu jika ditambahkan air akan menjadi kaku dan dalam beberapa jam saja pasta akan mengeras. C_3S menunjang kekuatan awal semen dan menimbulkan panas hidrasi kurang lebih 58 kalori/gram setelah 3 hari.

2. Dikalsium Silikat (C_2S) atau $2CaO.SiO_2$

Pada saat penambahan air setelah reaksi yang menyebabkan pasta mengeras dan menimbulkan panas 12 kalori/gram setelah 3 hari. Pasta akan mengeras, perkembangan kekuatannya stabil dan lambat pada beberapa minggu kemudian mencapai kekuatan tekan akhir hampir sama dengan C_3S .

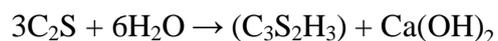
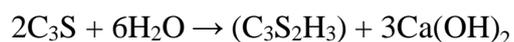
3. Trikalsium Aluminat (C_3A) atau $3CaO.Al_2O_3$

Unsur ini apabila bereaksi dengan air akan menimbulkan panas hidrasi tinggi yaitu 212 kalori/gram setelah 3 hari. Perkembangan kekuatan terjadi satu sampai dua hari tetapi sangat rendah.

4. Tetrakalsium Aluminoforit (C_4AF) atau $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

Unsur ini saat bereaksi dengan air berlangsung sangat cepat dan pasta terbentuk dalam beberapa menit, menimbulkan panas hidrasi 68 kalori/gram. Warna abu-abu pada semen disebabkan oleh unsur ini. Silikat dan aluminat yang terkandung dalam semen portland jika bereaksi dengan air akan menjadi perekat yang memadat lalu membentuk massa yang keras. Reaksi membentuk media perekat ini disebut dengan hidrasi. Reaksi kimia semen bersifat *exothermic* dengan panas yang dihasilkan mencapai 110 kalori/gram. Akibatnya dari reaksi eksotermis terjadi perbedaan temperatur yang sangat tajam sehingga mengakibatkan retak-retak kecil (*microcrack*) pada mortar.

Proses reaksi kimia semen dengan air sehingga membentuk masa padat ini juga masih belum bisa diketahui secara rinci karena sifatnya yang sangat kompleks. Rumus kimia yang dipergunakan juga masih bersifat perkiraan untuk reaksi kimia dari unsur C_2S dan C_3S dapat ditulis sebagai berikut:



Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah presentase empat komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen dengan tujuan pemakainnya

Sesuai dengan tujuan penggunaannya, semen portland di Indonesia dalam dapat dibagi menjadi beberapa tipe, yaitu:

a. Tipe I

Adalah perekat hidrolisis yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker yang kandungan utamanya kalsium silikat dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah 49% (C_3S), 25% (C_2S), 12% (C_3A), 8% (C_4AF), 2,8% (MgO), 2,9% (SO_3). Semen Portland tipe I dipergunakan untuk pengerasan jalan, gedung, jembatan, dan lain-lain jenis konstruksi yang tidak ada kemungkinan mendapat serangan sulfat dari tanah dan timbulnya panas hidrasi yang tinggi.

b. Tipe II

Semen jenis ini dalam penggunaannya memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang. Komposisinya: 46% (C_3S), 29% (C_2S), 6% (C_3A), 11% (C_4AF), 2,9% (MgO), 2,5% (SO_3). Semen Portland tipe II dipergunakan untuk bangunan tepi laut, bendungan, dan irigasi, atau beton masa yang membutuhkan panas hidrasi rendah.

c. Tipe III

Semen jenis ini dalam penggunaannya memerlukan kekuatan yang tinggi pada fase permulaan setelah terjadi pengikatan. Kadar C_3S -nya sangat tinggi dan butirannya sangat halus. Semen Portland tipe III dipergunakan untuk bangunan yang memerlukan kekuatan tekan yang tinggi (sangat kuat) seperti, jembatan-jembatan dan pondasi-pondasi berat.

d. Tipe IV

Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah, sehingga kadar C_3S dan C_3A rendah. Semen Portland tipe IV dipergunakan untuk kebutuhan pengecoran yang tidak menimbulkan panas, pengecoran dengan penyemprotan (*setting time* lama).

e. Tipe V

Semen portland yang dalam penggunaannya hanya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 43% (C_3S), 36% (C_2S), 4% (C_3A), 12% (C_4AF), 1,9% (MgO), 1,8% (SO_3). Semen Portland tipe V dipergunakan untuk instalasi pengolahan

limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan, dan pembangkit tenaga nuklir.

Tabel 1. Komposisi Semen Portland

Oksida	Komposisi (% Berat)
CaO	60 - 67 %
SiO ₂	17 - 25 %
Al ₂ O ₃	3 - 8 %
Fe ₂ O ₃	0,5 - 6,0 %
MgI	0,1 - 6,0 %
K ₂ O	0,5 - 1,3 %
LOI	5,0 %
IR	3,0 %

Karakteristik kimia dan fisik semen portland berdasarkan SNI 15-2049-2015, dapat di tunjukkan pada tabel 2 dan tabel 3.

Tabel 2. Karakteristik Kimia Semen Portland Berdasarkan SNI 15-2049-2015

No.	Uraian	Jenis Semen Portland (%)				
		I	II	III	IV	V
1.	SiO ₂ , min	-	20,0	-	-	-
2.	Al ₂ O ₃ , maks	-	6,0	-	-	-
3.	Fe ₂ O ₃ , maks	-	6,0	-	6,5	-
4.	MgO, maks	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
5.	SO ₃ , maks					
	Jika C ₃ A ≤ 8,0	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
	Jika C ₃ A ≤ 8,0	3,5	-	4,5	-	-
6.	Hilang pijar, maks	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
7.	Bagian tak larut, maks	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5

8.	C ₃ S, maks	-	-	-	35	-
9.	C ₂ S, min	-	-	-	40	-
10.	C ₃ A, maks	-	8,0	15	7	5
11.	C ₄ AF + 2C ₃ A					
	atau C ₄ AF +	-	-	-	-	25
	C ₂ F, maks					

Sumber: SNI 15-2049-2004

Tabel 3. Karakteristik Fisik Semen Portland Berdasarkan SNI 15-2049-2015

No.	Uraian	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1.	Kehalusan (m ² /kg)					
	<i>Blaine</i> , min	280	280	280	280	280
2.	Kekekalan:					
	Pemuaian dengan <i>autoclave</i> , maks %	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
3.	Kuat tekan:					
	Umur 1 hari, kg/cm ² , min	-	-	120	-	-
	Umur 3 hari, kg/cm ² , min	125	100	240	-	80
	Umur 7 hari, kg/cm ² , min		70			
		200	175	-	70	150
	Umur 28 hari, kg/cm ² , min		120			
		280	-	-	170	210
4.	Waktu pengikatan (metode alternatif) dengan alat:					
	<i>Gillmore</i>	60	60	60	60	60
	• Awal, menit, min	600	600	600	600	600
	• Akhir, menit, min					
	<i>Vicat</i>	45	45	45	45	45

• Awal, menit, min	375	375	375	375	375
• Akhir, menit, maks					

Sumber: SNI 15-2049-2015

d. Semen Portland Komposit (PCC)

Berdasarkan SNI-15-2049-2015 tentang spesifikasi semen Portland, *Portland Composite Cement* (PCC) didefinisikan sebagai pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama klinker semen Portland dan gypsum dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen Portland dengan bubuk bahan organik lain. Bahan anorganik antara lain pozzolan, senyawa silikat, batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6-35% dari massa semen.

Dari uraian tersebut maka PCC termasuk kedalam kategori *special blended cement* yang memiliki spesifikasi berbeda dengan semen OPC. Menurut Suparto (2001:12) bahan-bahan anorganik tersebut merupakan bahan-bahan mineral yang memiliki sifat pozzolonik atau memiliki sifat pozzolan yaitu bahan-bahan mineral yang unsur-unsurnya tidak memiliki sifat semen secara mandiri, namun bila bereaksi dengan kalsium oksida dan air pada temperatur biasa, bisa membentuk senyawa yang mempunyai ciri-ciri semen PCC merupakan salah satu jenis produk semen yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan khusus, baik pada aspek teknis maupun pada aspek biaya yang tidak bisa dipenuhi oleh semen Portland biasa (OPC).

Kadar silika yang tinggi dari bahan pozzolan tersebut akan menyebabkan jenis semen ini agak lambat mengeras dan panas hidrasinya rendah, namun kekuatan beton masih dapat meningkat lagi secara signifikan berumur 28 hari. Walaupun kekuatan awalnya relatif rendah, namun dengan perawatan yang baik dan teratur bisa menghasilkan kekuatan akhir yang tidak jauh berbeda dengan penggunaan semen Portland normal. Disamping itu, karena sifat pozzolan yang mampu mengikat kalsium-hidroksida, maka kekuatan beton yang dihasilkan terhadap korosi sulfat juga akan menjadi lebih baik. Demikian pula terhadap pengaruh reaksi alkali agregat, semen PCC pada umumnya menunjukkan

ketahanan yang lebih baik dibandingkan semen Portland biasa pada kondisi tertentu.

Karena sifat-sifat tersebut maka PCC dapat digunakan pada bangunan-bangunan yang memiliki masa besar seperti dam, atau komponen pondasi yang memiliki volume besar dan dengan kondisi air tanah yang korosif atau juga untuk bangunan sipil pada lingkungan yang agresif sulfat seperti dermaga dan bangunan-bangunan lain yang mengkondisikan panas hidrasi rendah dan tidak memerlukan kekuatan awal beton yang tinggi.

a. Penggunaan

Penggunaan semen Portland komposit dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti pekerjaan beton, pemasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding, dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, panel beton, bata beton, dan sebagainya.

b. Syarat mutu

- Syarat Kimia

Syarat kimia untuk semen Portland Komposit mengikuti SNI 15-2049-2015 tetapi pada semen Portland Komposit kandungan SO_3 maksimum 4,0%

- Syarat fisik

Syarat fisik dari semen Portland Komposit terdapat pada table 4.

Tabel 4. Syarat Fisika Semen Komposit

Uraian	Satuan	Persyaratan
Kehalusan dengan <i>blaine</i>	m ² /kg	Min. 280
Kekekalan bentuk dengan <i>autoclave</i>		
<ul style="list-style-type: none"> • Pemuaian 	%	Max. 0,80
<ul style="list-style-type: none"> • Penyusutan 	%	Max. 0,20
Waktu Pengikatan dengan alat vikat		
<ul style="list-style-type: none"> • Pengikatan awal 	Menit	Min. 45

• Pengikatan akhir	Menit	Min. 375
Kuat Tekan		
• Umur 3 hari	Kg/cm ²	Min. 125
• Umur 7 hari	Kg/cm ²	Min. 200
• Umur 28 hari	Kg/cm ²	Min. 250
Pengikatan semu		
• Penetrasi Akhir	%	Min. 50
Kandungan udara dalam mortar	% volume	Max. 12

Sumber: SNI 15-2049-20015

2.2. Klinker

Terbentuknya klinker ialah bila *raw material* dengan proporsi tertentu dari senyawa-senyawa kimia didalamnya dibakar pada suhu sekitar 1450°C. Dalam produksi klinker, PT. Semen Baturaja (Persero) menetapkan standar kualitas klinker agar semen yang dihasilkan dari penggilingan klinker memiliki kualitas yang baik. Standar untuk kualitas klinker dan semen yang ditetapkan oleh PT. Semen Baturaja (Persero) dapat dilihat pada table 5.

Tabel 5. Standar Kualitas Klinker Semen PT. Semen Baturaja (Persero)

No	Parameter	Standar PT. Semen Baturaja (Persero)
1	LSF	92 % - 95 %
2	CaO	Maks. 2 %
3	C3S	50 % - 62 %
4	C2S	12 % - 18%
5	C3A	9 % - 12 %
6	C4AF	9 % - 11 %

Sumber: PT. Semen Baturaja (Persero) 2015

Dalam pembuatan klinker, industri semen memerlukan bahan baku utama yang meliputi batu kapur dan tanah liat serta bahan baku penunjang yang meliputi pasir silika dan pasir besi.

2.2.1. Bahan Baku Utama

a. Batu Kapur (*Limer Stone*)

Kalsium karbonat (CaCO_3) di alam sangat banyak terdapat di berbagai tempat. Kalsium karbonat berasal dari pembentukan geologis yang pada umumnya dapat dipakai untuk pembuatan semen Portland sebagai sumber utama senyawa Ca. Batu kapur murni biasanya berupa *Calspar (kalsit)* dan *aragonite*. Berat jenis *kalsit* dan *aragonite* adalah sekitar 2,7 dan 2,95. Kekerasan batu kapur antara 1,8 – 3,0 skala Mesh, warna pada batu kapur dipengaruhi oleh tingkat kandungan unsur-unsur besi, *clay* (tanah liat), dan MgO. Batu kapur ini memberikan kandungan CaO dan sedikit mengandung MgO.

b. Tanah Liat (*Clay*)

Tanah liat ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) merupakan bahan baku semen yang mempunyai sumber utama senyawa silikat dan aluminat dan sedikit senyawa besi. Tanah liat memiliki berat molekul 796,40 g/gmol dan secara umum mempunyai warna coklat kemerah-merahan serta tidak larut dalam air. Sifat fisik dan kimia batu kapur dan tanah liat dapat dilihat pada table 6.

Tabel 6. Sifat-Sifat Fisika Batu Kapur Kapur dan Tanah Liat

No.	Sifat-Sifat Bahan	Komponen Bahan Baku	
		Batu Kapur	Tanah Liat
1.	Rumus Kimia	CaCO_3	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
2.	Berat Molekul	100,09 g/gmol	796,40 g/gmol
3.	Densitas	2,71 g/ml	2,9 g/ml
4.	Titik leleh	1339°C	Terurai pada 1450°C
5.	Warna	Putih keabu-abuan	Coklat kemerah-merahan
6.	Kelarutan	Larut dalam air, asam NH_4Cl	Tidak larut dalam air, asam, pelarut lain

Sumber: Perry, R. H, 2007)

2.2.2. Bahan Baku Penunjang

Bahan baku penunjang adalah bahan mentah yang dipakai hanya apabila terjadi kekurangan salah satu komponen pada pencampuran bahan mentah. Pada umumnya, bahan baku korektif yang digunakan mengandung oksida silika, oksida alumina dan oksida besi yang diperoleh dari pasir silika (*silica sand*) dan pasir besi (*iron sand*).

a. Pasir Silika (*silica sand*)

Pasir silika digunakan sebagai pengkoreksi kadar SiO_2 dalam tanah liat yang rendah.

b. Pasir Besi (*Iron sand*)

Pasir besi digunakan sebagai pengkoreksi kadar Fe_2O_3 yang biasanya dalam bahan baku utama masih kurang.

Sifat fisika dan kimia serta komponen kimia yang terdapat dalam pasir besi dan pasir silika dapat dilihat pada table 7 dan 8.

Tabel 7. Sifat-Sifat Fisik dan Kimia Pasir Besi dan Pasir Silika

No.	Sifat-Sifat Bahan	Komponen Bahan Baku	
		Pasir Silika	Pasir Besi
1.	Rumus Kimia	SiO_2	Fe_2O_3
2.	Berat Molekul	60,06 g/gmol	159,70 g/gmol
3.	Densitas	1,32 g/ml	5,12 g/ml
4.	Titik leleh	1710°C	Terurai pada 1560°C
5.	Titik didih	2230°C	-
6.	Warna	Cokelat keputihan	Hitam
7.	Kelarutan	Tidak larut dalam air, alkali tetapi larut dalam HF	Tidak larut dalam air, tetapi larut dalam HCl

Sumber: Perry, R.H, 2007

Tabel 8. Komponen Kimia yang Terdapat Pada Pasir Besi dan Pasir Silika

No	Komponen	Pasir silika	Pasir besi
1	SiO ₂	94,70	21,50
2	Al ₂ O ₃	2,90	8,80
3	Fe ₂ O ₃	0,24	57,60
4	CaO	0,35	3,10
5	MgO	0,13	3,60
6	SO ₃	0,01	2,30
7	K ₂ O	1,30	-
8	Na ₂ O	0,20	-

Sumber: Budiawan, Manisoh 2012

2.2.3. Bahan Tambahan

a. Gypsum

Di dalam proses pengilingan terak ditambahkan bahan tambahan Gypsum sebanyak 4-5%. Gypsum dengan rumus kimia CaSO₄.2H₂O merupakan bahan yang harus ditambahkan pada proses pengilingan klinker menjadi semen. Fungsi gypsum adalah mengatur waktu pengikatan daripada semen atau yang dikenal dengan sebutan retarder. Komposisi kimia gipsum dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Komposisi Kimia Gypsum

No	Komponen	Berat dalam persen
1	SiO ₂	1,40
2	Al ₂ O ₃	0,32
3	Fe ₂ O ₃	0,24
4	CaO	31,70
5	MgO	0,07
6	SO ₃	45,85
7	K ₂ O	-
8	Na ₂ O	-

Sumber: Budiawan, Manisoh 2012

Pada proses pengilingan klinker menjadi semen, jumlah gipsum dikontrol melalui kandungan SO_3 (sulfur trioksida) dari semen yang diproduksi. Semakin tinggi kandungan SO_3 dalam semen maka ini dapat memberikan indikasi bahwa penggunaan gypsum juga tinggi begitu pun sebaliknya.

Gipsum dalam semen dapat memberikan efek negatif apabila dalam jumlah yang besar, karena dapat menyebabkan terjadinya pemuaihan pada semen saat digunakan, itulah sebabnya penggunaan gipsum harus dikontrol secara ketat.

Selain sebagai pengatur waktu pengikatan dan penyebab pemuaihan, gypsum juga mempengaruhi kuat tekan baik itu nilai kuat tekan maupun perkembangan kuat tekan. Sifat fisik dan kimia gypsum terdapat pada table 10.

Tabel 10. Sifat-sifat Fisik dan Kimia Bahan Baku Tambahan

No	Sifat-Sifat Bahan	<i>Gypsum</i>
1	Rumus Kimia	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
2	Berat Molekul	172,17 g/gmol
3	Densitas	2,32 g/ml
4	Titik Leleh	128°C
5	Titik Didih	163°C
6	Warna	Putih
7	Kelarutan	Larut dalam air, gliseril, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, dan garam NH_4

Sumber: Perry, R.H, 2007

2.3. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang adalah bagian dari sisa pembakaran batubara pada boiler pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk partikel halus amorf dan bersifat Pozzolan yang dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air membentuk senyawa yang bersifat mengikat. Komponen-komponen pada abu

terbang batubara bergantung pada sumber dan susunan batubara. Komponen abu terbang sangat bervariasi mulai dari sejumlah besar silikon dioksida (SiO_2), Kalsium Dioksida (CaO) dan sejumlah kecil unsur-unsur lain seperti arsenik, berilium, boron, kadmium, kromium, kromium VI, kobalt, timah, mangan, raksa, molibdenum, selenium, strontium, talium, dan vanadium. Abu terbang batubara berbentuk bulat dan berdiameter berkisar antara $0,5 \mu\text{m}$ sampai $100 \mu\text{m}$. Mereka sebagian besar terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), yang hadir dalam dua bentuk amorf, yang bulat dan halus, dan kristal, yang tajam, runcing dan berbahaya; aluminium oksida (Al_2O_3) dan oksida besi (Fe_2O_3).

Abu terbang sepertinya cukup baik untuk digunakan sebagai bahan ikat karena bahan penyusun utamanya adalah silikon dioksida (SiO_2), aluminium (Al_2O_3) dan Ferrum oksida (Fe_2O_3). Oksida-oksida tersebut dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen ketika bereaksi dengan air. *Clarence*, 1966 menjelaskan bahwa dengan pemakaian abu terbang sebesar 20- 30% terhadap berat semen maka jumlah semen akan berkurang secara signifikan dan dapat menambah kuat tekan beton. Pengurangan jumlah semen akan menurunkan biaya material sehingga efisiensi dapat ditingkatkan. Abu terbang merupakan limbah dari pembakaran batubara yang banyak dihasilkan oleh PLTU dan mesin-mesin di pabrik. Abu terbang termasuk bahan pozolan yang memiliki sifat pozolanik, sifat abu terbang tersebut dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen dan bahan tambah untuk bangunan yang dapat meningkatkan ketahanan/keawetan beton terhadap ion sulfat dan juga menurunkan panas hidrasi semen.

2.3.1. Sifat Fisik dan Kimia Abu Terbang

Abu terbang merupakan material yang di hasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral-mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batubara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Dan kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat

halus. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara *Blaine*) antara 170 sampai 1000 m²/kg.

Hasil kehalusan abu terbang yang sangat halus ini membuat abu terbang sering dijadikan sebagai bahan tambahan pada proses pembuatan mortar yang nantinya dapat meningkatkan kehalusan semen. Hal ini sesuai dengan penelitian Andoyo, 2006 mengenai pengaruh abu terbang (*fly ash*) terhadap kuat tekan dan serapan mortar bahwa semakin banyak penambahan abu terbang, maka kehalusan semen akan meningkat. Dimana abu terbang merupakan butiran yang lebih halus dibandingkan semen, sehingga apabila abu terbang di tambahkan dalam semen maka dapat membuat semen menjadi lebih halus. Karakteristik fisik abu terbang, dapat ditunjukkan pada tabel 11.

Tabel 11. Karakteristik Fisik Abu Terbang

No.	Keterangan	Abu Terbang
1.	Warna	Abu-abu keputihan
2.	Ukuran butiran	Sangat halus yaitu sekitar 88%
3.	Ukuran partikel <i>fly ash</i>	0,075 mm
4.	Kerapatan <i>Fly Ash</i>	2100-3000 kg/m ²
5.	Kehalusan	170-1000 m ² /kg

Sumber: [Http://laporan KP n LA/TEORI2/fly ash/pemanfaatan-fly-ash-abu-terbang-dari.html](http://laporan KP n LA/TEORI2/fly ash/pemanfaatan-fly-ash-abu-terbang-dari.html), 2011

Sifat Kimia Abu Terbang

Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silikat (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan besi oksida (Fe₂O₃), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang. Sifat kimia dari abu terbang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit/sub bituminous menghasilkan

abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminus. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada bituminous. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100-3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya antara 170-1000 m²/kg. Karakteristik kimia abu terbang dari berbagai jenis batubara, dapat di tunjukkan pada tabel 12.

Tabel 12. Karakteristik Kimia Abu Terbang dari Berbagai Jenis Batubara

Komponen	Komposisi Kimia Dari Berbagai Jenis Batubara (%)		
	Bituminus	Sub Bituminus	Lignite
SiO ₂	20-60	40-60	15-45
Al ₂ O 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: [Http://laporan KP n LA/TEOR12/fly ash/pemanfaatan-fly-ash-abu-terbang-dari.html](http://laporan KP n LA/TEOR12/fly ash/pemanfaatan-fly-ash-abu-terbang-dari.html), 2011

2.3.2. Jenis-jenis Abu Terbang

Dalam SNI 03-6863-2002 spesifikasi abu terbang sebagai bahan tambahan untuk campuran mortar disebutkan ada 3 jenis abu terbang yaitu :

1. Abu terbang jenis N, ialah abu terbang hasil kalsinasi dari pozzolan alam, misalnya tanah diatomite, shale, tuft, dan batu apung.
2. Abu terbang jenis F, ialah abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran batubara jenis antrasit pada suhu kurang lebih 1560°C.
3. Pembakarannya lebih keras, biasanya batubara antrasit dan bituminous menghasilkan abu terbang jenis F. Abu terbang ini adalah pozzolanic di

alam, dan mengandung kurang dari 10% kapur (CaO). Pozzolanic memiliki properti, yang berkaca-kaca silika dan alumina.

4. Abu terbang jenis C, ialah abu terbang hasil pembakaran lignit/batubara dengan kadar karbon sekitar 60%. Abu terbang jenis ini mempunyai sifat seperti semen dengan kadar kapur di atas 10%. Abu terbang ini dihasilkan dari pembakaran lebih muda sub bituminous lignit atau batu bara, selain memiliki sifat pozzolanic, juga memiliki beberapa sifat memperkuat diri. Dengan keberadaan air, abu terbang jenis C akan mengeras dan memperoleh kekuatan dari waktu ke waktu. Abu terbang jenis C umumnya mengandung lebih dari 20% kapur (CaO).

Karakteristik kimia dan fisik jenis abu terbang berdasarkan SNI 03-6863-2002, dapat ditunjukkan pada tabel 13 dan 14.

Tabel 13. Karakteristik Kimia Jenis Abu Terbang Berdasarkan SNI 03-6863-2002

No.	Komposisi Kimia	Jenis Abu Terbang (%)		
		Jenis F	Jenis C	Jenis N
1.	SiO ₂	51,90	50,90	58,20
2.	Al ₂ O ₃	25,80	15,70	18,40
3.	Fe ₂ O ₃	6,98	5,80	9,30
4.	CaO	8,70	24,30	3,30
5.	MgO	1,80	4,60	3,90
6.	SO ₂	0,60	3,30	1,10
7.	Na ₂ dan K ₂ O	0,60	1,30	1,10

Sumber: SNI 03-6863-2002

Tabel 14. Karakteristik Fisik Jenis Abu Terbang Berdasarkan SNI 03-6863-2002

No.	Uraian	Kelas F (%)	Kelas C (%)
Susunan Kimia			
	Silika dioksida + aluminium oksida + besi	70,00	50,00
	Oksida, min	5,00	5,00

Sulfur Trioksida, maks	3,00	3,00
Kadar air, maks	6,00	1,50
Sifat Fisika		
Kehalusan sisa di atas ayakan 4 μ m, maks	34,00	34,00
Indeks keaktifan pozzolan dengan PC 1 pada umur minimal 28 hari	75,00	75,00
Air, maks	105,00	105,00
Pengembangan dengan autoclave, maks	0,80	0,80

Sumber: SNI 03-6863-2002.

2.3.3. Pemanfaatan Abu Terbang

Walaupun abu terbang dapat digunakan dalam bentuk kering atau basah, abu terbang biasanya di simpan dalam kondisi kering. Kira-kira 15 sampai 30 % air dapat ditambahkan pada abu terbang. Berikut dibahas kontribusi abu terbang pada pemakaian *portland cement*, batubata, beton ringan, material konstruksi jalan, material pekerjaan tanah, campuran grouting, stabilisasi tanah untuk konstruksi jalan maupun stabilisasi tanah untuk tanah-tanah yang bermasalah di Indonesia.

a. *Portland Cement*

Abu terbang digunakan untuk pengganti *portland cement* pada beton karena mempunyai sifat *pozzolanic*. Penggunaan abu terbang dapat dikatakan sebagai factor kunci pada pemeliharaan beton tersebut. Penggunaan abu terbang sebagai pengganti sebagian berat semen pada umumnya terbatas pada abu terbang kelas F. Abu terbang tersebut dapat menggantikan semen sampai 30% berat semen yang dipergunakan dan dapat menambah daya tahan dan ketahanan terhadap bahan kimia. Baru-baru ini telah dikembangkan penggunaan penggantian *portland cement* dengan volume abu terbang yang tinggi (50%) pada perencanaan campuran beton, bahkan untuk “*Roller Compacted Concrete Dam*” penggantian tersebut mencapai 70% telah dicapai dengan *Pozzocrete* (abu terbang yang diproses) pada “*The Ghatghar Dam Project*” di Maharashtra India. Abu terbang juga dapat meningkatkan workability dari semen dengan

berkurangnya pemakaian air. Produksi semen dunia pada tahun 2010 diperkirakan mencapai 2 milyar ton, dimana penggantian dengan abu terbang dapat mengurangi emisi gas carbon secara dramatis.

b. Batu Bata

Batu bata dari abu telah digunakan untuk konstruksi rumah di *Windhoek*, Namibia sejak tahun 1970, akan tetapi batu bata tersebut akan cenderung untuk gagal atau menghasilkan bentuk yang tidak teratur. Hal ini terjadi ketika batu bata tersebut kontak dengan air dan reaksi kimia yang terjadi menyebabkan batu bata tersebut memuai. Pada Mei 2007, Henry Liu pensiunan Insinyur Sipil dari Amerika mengumumkan bahwa dia menemukan sesuatu yang baru terdiri dari abu terbang dan air. Dipadatkan pada 4000 psi dan diperam 24 hari pada temperature 668°C *steam bath*, kemudian dikeraskan dengan bahan *air entrainment*, batu bata berakhir untuk lebih dari 100 *freeze-thaw cycle*. Metode pembuatan batu bata ini dapat dikatakan menghemat energy, mengurangi polusi mencuri dan biayanya 20% lebih hemat dari pembuatan batu bata tradisional dari lempung.

c. Materi Konstruksi Jalan

Abu terbang kelas F dan kelas C keduanya dapat digunakan sebagai mineral *filler* untuk pengisi *void* dan memberikan kontak *point* antara partikel agregat yang lebih besar pada campuran *aspaltconcrete*. Aplikasi ini digunakan sebagai pengganti *portland cement* atau *hydrated lime*. Untuk penggunaan perkerasan aspal, abu terbang tersebut harus memenuhi spesifikasi *filler* mineral yang ada di ASTM. Sifat *hydrophobic* dari *fly ash* memberikan daya tahan yang lebih baik untuk perkerasan dan tahan terhadap *stripping*. Abu terbang juga dapat meningkatkan *stiffness* dari *matrix asfalt*, meningkatkan daya tahan terhadap *rutting* dan meningkatkan *durability* campuran.

2.4. Dampak Positif dan Negatif Abu Terbang

Penggunaan abu terbang dapat memberikan dampak positif diantaranya dapat digunakan sebagai bahan tambah beton, baik untuk adukan maupun campuran mortar. Dengan sifat dan karakteristik dari abu terbang batubara, maka abu terbang dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan seperti :

1. *Fly ash clay brick*
2. Konstituen dalam semen portland
3. Pengganti semen dalam *concrete*
4. Pengganti semen dalam produk *concrete*
5. Sebagai pozzolan dalam Semen Portland Pozzolan
6. Sebagai *pozzolan* dalam stabilisasi tanah (*soil stabilization*)
7. Sebagai *grouping agent* dalam *Oil Well Cement*
8. *Raw Material* untuk *lightweight aggregate*
9. *Filler* dalam *aspalt paving*
10. Sebagai pengisi untuk *land development* atau *compacted embankments*.
Lain-lain yaitu *absorbent* pada *oil spilt (silicone-coated)*, pengganti *lime* untuk *scrubbing sulfur* dari *flue gas*, sebagai *filler* dalam plastic, katalis untuk *liquefaction* batubara.
11. Konversi menjadi zeolite dan absorben
12. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan
13. Penimbun lahan bekas pertambangan
14. *Recovery magnetic, cenosphere* dan karbon
15. Bahan baku keramik, gelas, batubata, dan refraktori
16. Bahan penggosok (*polisher*)
17. *Filler* plastik dan kertas
18. Pengganti dan bahan baku semen
19. Aditif dalam pengolahan limbah (*waste stabilization*)

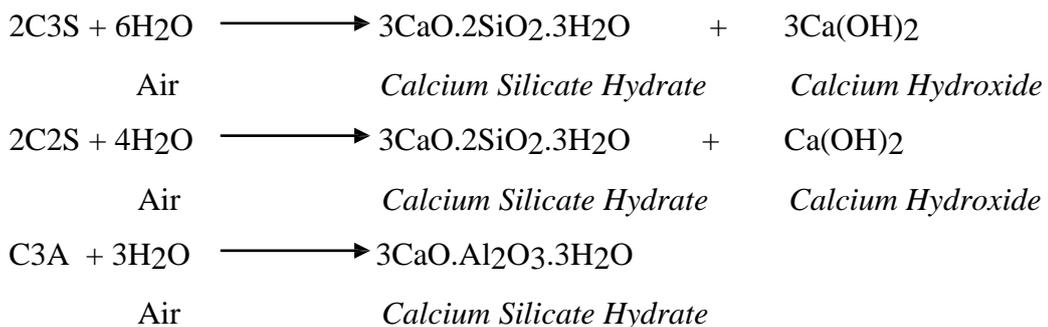
Abu terbang merupakan limbah padat, maka ada beberapa dampak negatif dari abu terbang, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Apabila abu terbang didiamkan dan tidak diolah maka akan berdampak negatif pada lingkungan dan manusia, karena abu terbang merupakan salah satu limbah B3.
2. Abu terbang dapat menyebabkan timbulnya beberapa penyakit, seperti penyakit silikosis, penyakit antrakosisis dan sebagainya.

2.5. Hidrasi Semen

Hidrasi semen adalah reaksi yang terjadi antara *silikat* dan *aluminat* pada semen dengan air menjadi media perekat yang memadat lalu membentuk massa yang keras. Hidrasi semen bersifat *eksotermis* dengan panas yang dikeluarkan kira-kira 110 kalori/gram (Kukuh, Wibawa, 2010). Panas hidrasi didefinisikan sebagai kuantitas panas dalam kalori/gram pada semen yang terhidrasi. Waktu berlangsungnya dihitung sampai proses hidrasi berlangsung sampai sempurna pada temperature tertentu. Laju hidrasi dan perubahan panas bertambah besar sejalan dengan semakin halusya semen,

Reaksi Hidrasi Semen



Pada reaksi, daya larut hidrasi berkurang dalam air disbanding dengan semen semula. Dan semen mengeras karena reaksi hidrasi kimia dan reaksi hidrasi ini melepaskan panas. (Lawrence H. Van Vlack, 1989).

2.6. Mortar

Menurut Radianto, 2011 pengertian mortar adalah sebagai berikut:

1. Mirriam Webster Dictionary. Mortar adalah bahan bangunan lentur (seperti campuran semen, kapur atau gypsum dengan pasir dan air) yang dapat

mengeras dan bahan tersebut biasanya digunakan pada pekerjaan batu atau pekerjaan plesteran.

2. Kamus Inggris – Indonesia Hasan Shaddily dan John M. Echol. Mortar adalah adukan semen.
3. Secara umum mortar adalah bahan bangunan berupa adukan semen yang biasa digunakan dalam pekerjaan tukang batu yaitu sebagai plesteran.
4. Menurut Tjokrodimuljo, 1996 mortar sering kali disebut sebagai mortel atau spesi, yaitu adukan yang terdiri dari pasir, bahan perekat dan air. Bahan perekat dapat berupa tanah liat, kapur maupun semen *portland*. Bila sebagai bahan perekat dipakai tanah liat maka disebut mortar lumpur (mud mortar), bila dari kapur disebut mortar kapur, begitu juga bila semen portland yang dipakai maka disebut mortar semen. Bila mortar dibuat dengan cara menambahkan bahan khusus (seperti: fibers, serbuk atau butir-butir kayu, dan sebagainya) pada mortar kapur atau mortar semen, maka disebut mortar khusus.

2.6.1. Mortar Semen

Mortar semen merupakan campuran semen, pasir dan air pada proporsi yang sesuai. Perbandingan volume semen dan pasir berkisar pada 1:2 sampai dengan 1:6 atau lebih tergantung penggunaannya. Mortar semen lebih kuat dari jenis mortar lain, sehingga mortar semen sering digunakan untuk tembok, pilar, kolom atau bagian-bagian lain yang menahan beban. Karena mortar ini rapat air, maka juga sering digunakan untuk bagian luar dan yang berada di bawah tanah. Dalam adukan beton atau mortar, air dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta semen ini selain mengisi pori-pori diantara butir-butir agregat halus, juga bersifat sebagai perekat atau pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan terbentuklah suatu massa yang kompak atau padat.

Menurut sifatnya, mortar dibedakan menjadi 3 macam yaitu:

1. Mortar kasar

Digunakan untuk melapisi permukaan batu bata atau pasangan batu belah yang tidak terlihat dari luar, misalnya tembok yang diatas rangka plafon.

2. Mortar setengah halus atau setengah kasar

Digunakan untuk permukaan lantai gudang, lantai lapangan olahraga, lantai teras, lantai kamar mandi, dan sebagainya.

3. Mortar halus

Digunakan sebagai pelapis tembok-tembok rumah, dalam hal ini langsung berhubungan dengan keindahan dan kerapian pandangan.

2.6.2. Sifat-Sifat Mortar

Mortar yang baik harus memenuhi sifat-sifat sebagai berikut:

1. Murah
2. Tahan lama (awet) dan tidak mudah rusak oleh pengaruh cuaca
3. Mudah dikerjakan (diaduk, diangkut, dipasang, dan diratakan)
4. Melekat dengan baik dengan bata, batako, batu, dan sebagainya
5. Cepat kering dan keras
6. Tahan terhadap rembesan air
7. Tidak timbul retak-retak setelah dipasang.

2.6.3. Kegunaan Mortar

Mortar disebut juga plesteran. Kegunaan mortar adalah melapisi pasangan batu bata, batu kali maupun batu cetak (batako) agar permukaannya tidak mudah rusak dan kelihatan rapi dan bersih. Mortar juga dapat digunakan untuk melapisi pasangan pondasi, pasangan tembok dinding rumah, lantai batu bata, lisplang beton, dan sebagainya.

2.7. Parameter-parameter yang Mempengaruhi Kualitas Mortar

Umumnya ada beberapa parameter yang akan diuji untuk mengetahui kualitas mortar, diantaranya adalah sebagai berikut:

2.7.1. Kuat Tekan

Kekuatan tekan adalah sifat kemampuan menahan atau memikul suatu beban tekan. Kekuatan tekan yang diukur adalah kekuatan tekan pasta, mortar, dan beton terhadap beban yang diberikan. Kuat tekan dipengaruhi oleh komposisi mineral utama. C_2S memberikan kontribusi yang besar pada perkembangan kuat tekan awal, sedangkan C_2S memberikan kekuatan semen pada umur yang lebih lama, C_3A mempengaruhi kuat tekan sampai pada umur 28 hari dan selanjutnya pada umur berikutnya pengaruh ini semakin kecil.

Mortar adalah campuran antara semen, air dan pasir pada perbandingan tertentu. Pasta adalah campuran antara semen dan air pada perbandingan tertentu. Beton adalah campuran semen, air, pasir dan agregat atau kerikil pada perbandingan tertentu, kadang ditambah dengan additive.

Faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan yaitu:

1. Kualitas Semen

Meliputi kehalusan dan komposisi semen. Makin halus partikel-partikel semen akan menghasilkan kekuatan tekan makin tinggi.

2. Kualitas Selain Semen

Meliputi kualitas agregat, kekuatan tekan agregat dan pasta, kekerasan permukaan, konsentrasi, ukuran agregat, *water cement ratio*, volume udara, cara pengerjaan seperti pengadukan, compacting, juga pengeringan, dan umur mortar.

Penentuan kuat tekan dirumuskan sebagai berikut:

$$F_m = P/A$$

Dimana:

$$P = \text{Kuat tekan (N/m}^2\text{)}$$

$$F_m = \text{Gaya tekan maksimum total (N)}$$

$$A = \text{Luas permukaan yang dibebani (m}^2\text{)}$$

2.7.2. Kehalusan (*Blaine*)

Kehalusan semen adalah salah satu syarat mutu fisika semen karena akan menentukan luas permukaan partikel-partikel semen pada saat hidrasi. Semakin

halus semen maka kekuatan, panas hidrasi, dan kebutuhan air persatuan berat semen akan semakin tinggi, serta reaksi hidrasi akan semakin cepat. Disamping itu, hal tersebut dapat menyebabkan makin singkatnya *setting time* serta lebih mudah terjadinya *shrinkage* sehingga menimbulkan keretakan pada konstruksi mortar.

Suatu mortar yang memiliki kehalusan tinggi akan mudah menyerap air dan CO₂ dari udara, jika semen terlalu kasar, maka kekuatan, plastisitas, dan kestabilannya akan berkurang. Oleh karena itu untuk menjaga agar semen dapat dipakai dengan baik, kehalusannya dijaga, hal ini juga tergantung dari jenis semennya.

Penentuan kehalusan (*blaine*) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S = F\sqrt{t}$$

Dimana :

S = Kehalusan semen (cm²/gr)

F = Faktor korelasi, 416,68

T = Waktu (detik)

2.7.3. Hilang Pijar (*Low Of Ignation*)

Hilang pada pemijaran adalah tes yang digunakan dalam analisis kimia anorganik khususnya dalam analisis mineral dengan jalan memijarkan suatu contoh pada suhu tertentu, sehingga zat yang mudah terbang akan terlepas sampai pada kondisi yang konstan. Pengujian sederhana biasanya dilakukan dengan menempatkan beberapa gram bahan dalam suatu wadah yang telah diketahui bobotnya kemudian dimasukkan dalam tungku dengan suhu yang dapat dikontrol dan ditempatkan selama waktu tertentu. Kemudian setelah itu didinginkan dan kemudian ditimbang kembali, proses pemanasan dapat diulang untuk memastikan bahwa sudah tidak terjadi perubahan berat. Variasi dari pengujian ini adalah perubahan berat yang diakibatkan oleh suhu, hal ini disebut Thermogravimetri. Hilang pijar dilaporkan sebagai hilangnya bagian dari suatu material atau oksida dari suatu mineral. Zat yang mudah terbang pada hilang pijar adalah air terikat

dan karbon dioksida dari karbonat, dan ini dapat digunakan sebagai pengujian kualitas.

Penentuan hilang pijar/*lost of ignition* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\%HP = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

Dimana:

W_1 = berat contoh awal (gr)

W_2 = berat contoh sisa pijar (gr)