

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Piropilit

Piropilit mempunyai rumus kimia $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ (Aluminium Silicate Hydroksida), termasuk dalam kelas silikat, subkelas *phyllosilicates* dengan struktur berbentuk lembaran berlapis seperti *sandwich*. Lapisan silikatnya, yang bergeometri tetrahedral, tidak langsung terhubung antara lapisan silikat atas dan lapisan silikat di bawahnya, tetapi diantara dua lapisan silikat terdapat mineral Gibbsite ($\text{Al}(\text{OH})_3$) yang berstruktur oktahedral. **Gambar 2.1** di bawah adalah bentuk dari batuan piropilit.



Gambar 2.1 Contoh batuan piropilit

(Sumber : www.nuansamasel.blogspot.com)

Mutrofin ,*et al* (2005) dalam Ogy (2011), piropilit bersifat kristalin, terdiri dari 73,7 % piropilit, 25,5 % kuarsa, dan 0,6 rutil, dengan susunan kimiawi sebagai berikut: SiO_2 (84,30%), Al_2O_3 (1,80%), MgO (1,26%), CaO (0,68%), K_2O (0,25%), Na_2O (0,64%), Fe_2O_3 (1,56 %). Ion-ion Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ K^+ dan Fe^{3+} yang ada kemungkinan menempati ruang-ruang antar lapisan tetrahedral dan oktahedral. Berdasarkan analisis porositas menggunakan metode BET, piropilit alam tersebut mempunyai luas permukaan spesifik sebesar $6,362 \text{ m}^2/\text{g}$. Luas permukaan spesifik alam Sumbermanjing tersebut termasuk rendah, hal ini mungkin disebabkan masih adanya pengotor dan adanya ion-ion didalam rongga-rongganya.

Terdapat dua golongan mineral piropilit, yaitu piropilit dengan sistem kristal monoklinik dan piropilit dengan sistem kristal triklinik, tetapi sampai saat ini dilaporkan bahwa tidak ada perbedaan sifat yang berarti dengan perbedaan sistem kristal tersebut. Piropilit mempunyai sifat-sifat fisika yang identik dengan talk, talk dan piropilit adalah *isomorf*. Sifat-sifat fisika piropilit antara lain : berwarna putih keabu-abuan, massa jenis antara 2,65 – 2,85 g/cm³, sifat cerat putih, belahan sempurna dan kekerasan antara 1 sampai 1,5. Pemahaman yang baik tentang piropilit pada tingkat atomik sangat penting untuk aplikasinya dalam bidang industri. (www.galleries.com)

Piropilit salah satunya bisa dimanfaatkan sebagai *adsorben*, diantaranya sebagai *adsorben* anion yang dapat diaplikasikan untuk mengadsorpsi anion-anion berbahaya yang ada dalam limbah misalnya anion klorida yang biasa terdapat dalam limbah elektrolisis NaCl dan proses pengolahan air minum. Keberadaan klorida tersebut bisa merusak pipa-pipa instalasi. Kandungan ion klorida dalam perairan, menurut WHO ditoleransi sampai ambang batas 200 ppm dan dapat menyebabkan korosi di atas konsentrasi 300 ppm (ISO 9224).

Agric (1993) dalam Ogy (2011), mengacu pada struktur piropilit yaitu lapisan tetrahedral-oktahedral-tetrahedral dan tidak bermuatan atau netral, maka piropilit diharapkan mempunyai kemampuan lebih besar untuk *mengadsorpsi* anion-anion dibandingkan dengan mineral-mineral lain seperti *montmorillonit* dan *illite*. Baik *montmorillonit* maupun *illite*, merupakan golongan mineral 2:1, tetapi keduanya mempunyai muatan negatif pada permukaannya, mengakibatkan penurunan kemampuan dalam mengadsorpsi anion-anion.

Keren and Spark (1995) dalam Ogy (2011), situs aktif pada mineral piropilit terletak pada permukaannya yaitu adanya gugus OH⁻ yang terikat pada Al III dan OH⁻ pada Si IV, yang peka terhadap perubahan pH dan bertindak sebagai asam Bronsted. Handoko (2003) dalam Ogy (2011), Untuk meningkatkan kemampuan dan kualitas piropilit alam sebagai *adsorben* anion, maka piropilit tersebut harus dibuat mempunyai situs positif yang lebih banyak (asam lewis), yang bisa dilakukan dengan perendaman dalam larutan asam dan dengan cara pemanasan / *kalsinasi*. Nilai kapasitas adsorpsi piropilit optimum adalah 128,566 mg/g diperoleh pada piropilit teraktivasi dengan konsentrasi HCl 0,3 M selama 90

menit dengan lama kontak 4 jam. Nilai kapasitas piropilit teraktivasi mengalami kenaikan sebesar 8,01% dibandingkan dengan piropilit tanpa aktivasi. Piropilit berprospek sebagai adsorben Cl⁻ karena % adsorpsinya cukup tinggi yaitu 85,71% (Heryono, 1997). Situs hidroksil (OH⁻) pada permukaan piropilit baik yang terikat pada Al(III) maupun pada Si(IV) pada pH rendah akan berubah menjadi situs asam Lewis. Keren, *et al* (1994) dalam Ogy (2011), pengaktifan dengan asam dimaksudkan untuk meningkatkan situs positif piropilit, sehingga mampu untuk mengadsorpsi anion-anion dengan lebih baik, Sementara itu, perlakuan dengan pemanasan (*kalsinasi*) dimaksudkan untuk mengeluarkan molekul-molekul air yang ada di dalamnya.

2.1.1 Pengaruh Piropilit Pada Beton

Kegunaan bahan piropilit:

1. Mewujudkan beton ramah lingkungan (*green concrete*).
Hal ini disebabkan karena mengurangi pelepasan CO₂ ke udara sebagai salah satu penyebab rusaknya lapisan ozon.
2. Meningkatkan kekuatan tekan beton.
Setelah dilakukan metode pengujian tekan terhadap benda uji laboratorium dan analisis data dengan uji anova serta regresi sehingga dapat diketahui hubungan antara penambahan piropilit dan kekuatan beton yang dihasilkan mencapai hingga 42 persen.
3. Penghematan Semen.
Dengan meningkatnya kuat tekan beton terlihat pada indikasi penghematan penggunaan semen.
4. Menurunkan biaya produksi beton.
Penggunaan piropilit bisa menurunkan f_c target yang bisa berdampak pada pengurangan penggunaan semen bahkan menurunkan biaya produksi beton dan mengurangi emisi gas CO₂.

(www.rafinda-ega.blogspot.com)

2.2 Semen

Semen pada pekerjaan beton berfungsi sebagai bahan pengikat antara agregat kasar dan agregat halus, sehingga menghasilkan bentuk yang telah direncanakan. Semen dibuat dari berbagai bahan baku yang terdapat di alam dengan perbandingan tertentu dari setiap bahan baku yang digunakan, dan setelah melalui proses pembuatannya maka terbentuklah klinker. Dengan menghaluskan butiran klinker tadi, dihasilkan suatu bahan bergradasi sangat halus, dan bahan inilah yang disebut dengan semen. Semen akan bereaksi dan mengeras bila dicampur dengan air atau molekul air yang terdapat di udara dan semen yang mengeras bila bereaksi dengan air.

Dengan mengetahui sifat-sifat bahan baku agregat dengan baik, maka dapat ditentukan kebutuhan semen paling minimum dan menghasilkan kekuatan paling optimum, dan bila keadaan ini tercapai diharapkan diperoleh harga beton paling ekonomis. Kekuatan beton ditentukan oleh jumlah semen yang digunakan, dengan demikian beton dengan kuat tekan lebih tinggi memerlukan jumlah pemakaian semen lebih tinggi. Akan tetapi penggunaan kandungan semen dalam jumlah berlebihan dapat menimbulkan pengaruh kurang baik terhadap kekuatan akhir, dimana terjadi penurunan kekuatan akibat penyusutan beton. Jumlah semen dengan luas melebihi luas permukaan butiran yang akan diikatnya dapat menurunkan kekuatan beton.

Bahan baku utama yang diperlukan dalam pembuatan semen hidrolis adalah kapur, alumina, silika, dan oksida besi. Total kebutuhan bahan mentah yang digunakan untuk memproduksi semen yaitu:

1. Kapur

Secara teknis kapur dapat dibedakan menjadi batu kapur, kapur tohor, dan kapur padam. Pembentukan batu kapur menjadi kapur tohor dan kapur padam disebabkan karena perubahan komposisi kimia pada saat proses pembakaran, proses pepadatan dan proses pengerasan.

2. Silika

Mineral silika merupakan kandungan mineral utama pada batuan dan tanah, dimana mineral ini dapat ditemui dalam keadaan murni dan mempunyai komposisi kimia yang stabil dan tidak dapat larut dalam

bentuk kuarsa, pasir kuarsa dan batuan pasir. Silika dapat juga ditemui dalam bentuk butiran halus seperti *flint*, *opal* dan tanah *diaotema*, dan karena butirannya sangat halus, maka jenis silika ini lebih reaktif dan merupakan suatu sifat yang sangat diperlukan dalam proses pembuatan semen. Pada temperatur yang tinggi, silika sangat reaktif dan bersifat asam oksida serta mampu bergabung dengan basa untuk membentuk silikat, serta melepaskan asam-asam lain dari larutannya.

3. Alumina

Oksida aluminium, Al_2O_3 merupakan komponen bahan yang diperlukan dalam pembuatan semen. Mineral *clay* dalam jumlah besar pada umumnya mempunyai kandungan alumina terikat agak kuat seperti yang ditemui pada air dan silika, dimana jumlah kandungan setengah dari jumlah yang terkandung di dalam silika. Silika dan alumina merupakan hasil penghancuran batuan di bawah pengaruh pembentukan geologi batuan dan apabila hasil bentukan dipindahkan dari tempat asal batuan melalui aliran sungai atau banjir, lalu terbentuklah *clay*. Tergantung pada sejarah pembentukannya, *clay* juga mengandung bahan mineral lainnya seperti kuarsa, oksida besi, serta mineral dan bahan organis lainnya.

4. Oksida Besi

Mineral oksida besi dapat diperoleh pada semua kandungan biji besi, yang ditandai dengan bentuk karat. Selain itu juga dapat diperoleh sebagai komponen atau sebagai unsur tambahan pada semua jenis bahan baku, sehingga oksida besi dapat ditemui pada hamper semua jenis semen hidrolis. Oleh karena oksida besi memiliki titik leleh lebih rendah, maka bahan tersebut bertindak sebagai bahan bakar pembantu dalam proses pembakaran *klinker*. Akibat titik lelehnya yang rendah sehingga member peluang pembentukan formasi komposisi kimia baru yang merupakan dasar pembuatan semen. Warna keabu-abuan yang tidak mengkilap pada semen sebenarnya berasal dari oksida besi. Semen putih dapat dibuat bila kandungan oksida besinya sangat kecil atau tidak terdapat sama sekali, namun hal ini sangat jarang sekali ditemui.

2.2.1 Jenis Semen

Semen merupakan hasil industri yang sangat kompleks, dengan campuran serta susunan yang berbeda-beda. Semen dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu :

- semen non-hidrolik
- semen hidrolik

2.2.1.1 Semen non-hidrolik

Semen non-hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utama dari semen non-hidrolik adalah kapur. Kapur dihasilkan oleh proses kimia dan mekanis di alam. Jenis kapur yang baik adalah kapur putih, yaitu yang mengandung kalsium oksida yang tinggi ketika masih berbentuk kapur tohor (belum berhubungan dengan air) dan akan banyak mengandung kalsium hidroksida ketika telah berhubungan dengan air. Kapur tersebut dihasilkan dengan membakar batu kapur atau kalsium karbonat bersama bahan-bahan pengotornya, yaitu magnesium, silikat, besi, alkali, alumina dan belerang. Proses pembakaran dilaksanakan dalam tungku tanur tinggi yang berbentuk vertikal atau tungku putar pada suhu 800°C - 1200°C. Kalsium karbonat akan terurai menjadi kalsium oksida dan karbon dioksida dengan reaksi kimia sebagai berikut.



Kapur putih ini cocok untuk menjernihkan plasteran langit-langit, untuk mengapur kamar-kamar yang tidak penting dan garasi, atau untuk membasmi kutu-kutu dalam kandang. Jika digunakan sebagai bahan tambah campuran beton, kapur putih akan menambah kekenyalan dan memperbaiki sifatpengerjaan beton. Dengan menggunakan campuran 1 : 3, kapur putih dapat memperbaiki permukaan beton yang tidak mengandung pori-pori. Kapur putih merupakan komponen utama dari bata yang terbuat dari pasir dan kapur. Kekuatan kapur sebagai bahan pengikat hanya dapat mencapai sepertiga kekuatan semen Portland.

2.2.1.2 Semen hidrolik

Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air. Beberapa contoh yang tergolong semen hidrolik adalah :

1. Kapur hidrolik

Bahan Kapur hidrolik sebagian besar (65-75%) terbuat dari batu gamping yaitu kalsium karbonat beserta bahan pengikatnya: silika, alumunium, magnesia dan oksida besi. Kapur hidrolik bersifat hidrolik, namun tidak cocok untuk bangunan-bangunan di dalam air, karena dalam proses pengerasannya membutuhkan udara. Secara umum kapur hidrolik mempunyai sifat : kekuatannya rendah, berat jenis rata-rata 1000 kg/m^3 , dapat terbawa arus, serta tidak menunjukkan pelapukan.

2. Semen Pozollan

Semen Pozollan adalah bahan ikat yang mengandung silika amorf, bila dicampur dengan kapur dan air akan membentuk benda padat dan keras. Bahan yang tergolong pozollan antara lain: teras, semen merah, abu terbang, dan bubukan terak tanur tinggi (SK. SNI T-15-1990-03:2)

3. Semen Portland

Menurut ASTM C-150-1985, semen portland adalah semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling *klinker* yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya terdiri dari satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. Semen portland yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SII.0013-81 atau Standar Uji Bahan Bangunan Indonesia 1986. Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor pekerjaan sipil. Sifat dan karakteristik semen portland dapat dibedakan berdasarkan susunan kimianya dan kehalusan butirnya. Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen portland adalah: kapur (CaO) sekitar 60-65%, silika (SiO_2) sekitar 20-25%, dan oksida besi serta alumunium (Fe_2O_3 dan Al_2O_3) sekitar 7-12%.

2.2.2 Klasifikasi semen

Beberapa jenis klasifikasi semen Portland tipe 1 yang akan digunakan diantaranya yaitu:

1. Semen Dagang A :

Tabel 2.1 Klasifikasi semen dagang A

Jenis Pengujian	SNI (15-2049-04)		ASTM (C595-03)	Hasil Pengujian
	PPC Tipe IP-U	PPC Tipe IP-K	PPC Tipe IP	
Komposisi Kimia :				
Silikon Dioksida (SiO ₂),%	-	-	-	23,13
Aluminium Oksida (Al ₂ O ₃),%	-	-	-	8,76
Ferri Oksida (Fe ₂ O ₃),%	-	-	-	4,62
Kalsium Oksida (CaO),%	-	-	-	58,66
Magnesium Oksida (MgO),%	≤ 6,00	≤ 6,00	≤ 6,00	0,90
Sulfur Trioksida (SO ₃),%	≤ 3,50	≤ 3,50	≤ 3,50	2,18
Hilang Pijar (LOI),%	≤ 5,00	≤ 3,00	≤ 3,00	1,69
Kapur Bebas , %	-	-	-	0,69
Bagian Tidak Larut, %	-	-	-	0,82
Pengujian Fisika :				
Kehalusan :				
Sisa di atas ayakan 0,09 mm (%)	-	-	(A)	
Dengan alat blainc (m ² /Kg)	≥ 280	≥ 280	(A)	325
Waktu pengikatan dengan alat vical :				
awal (menit)	≥ 45	≥ 45	≥ 45	153
akhir (menit)	≤ 420	≤ 420	≤ 420	249
Kekekalan dengan alat Autoclave :				
Pemuai (%)	≤ 0,80	≤ 0,80	≤ 0,80	0,043
Penyusutan (%)	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,20	-
Kuat Tekan :				
3 hari (kg/cm ²)	≥ 125	≥ 110	≥ 130	205
7 hari (kg/cm ²)	≥ 200	≥ 165	≥ 200	290
28 hari (kg/cm ²)	≥ 250	≥ 205	≥ 250	385
Panas hidrasi				
7 hari (cal/gr)	-	≤ 0,70	≤ 0,70 [B]	68,15
28 hari (cal/gr)	-	80	≤ 0,80 [B]	78,40
Kandungan udara (%)	< 12 [C]	< 12 [C]	≤ 12	6,40

Pada **Tabel 2.1** klasifikasi semen diatas merupakan klasifikasi semen jenis A menggunakan standar sesuai SNI 15-2049-04 dan ASTM C595-03 sebagai acuan produksi semen.

2. Semen Dagang B

Sebagai acuan proses produksinya, semen dagang B menggunakan 3 standarisasi, diantaranya adalah :

- Indonesian standart : SNI 15-2049-2004
- American Standart : ASTM C 150-04a
- European Standart : EN 197 - 1 : 2000

Berdasarkan SNI 15-2049-2004 syarat kimia yang harus dipenuhi untuk acuan proses produksi beberapa jenis semen dagang B, dapat diperlihatkan pada

Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Syarat kimia semen jenis B

No	Uraian	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1	C3A, maksimum	-	-	8	-	-
2	C3A, minimum	-	-	5	-	-
3	(C3S + 2C3A), maksimum	-	58 [®]	-	-	-
4	Alkali, sebagai (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O), maksimum	0,60 [®]	0,60 [®]	0,60 [®]	0,60 [®]	0,60 [®]
5	SiO ₂ , minimum	-	-	8	-	-
6	Al ₂ O ₃ , maksimum	-	-	5	-	-
7	Fe ₂ O ₃ , maksimum	-	58 [®]	-	-	-
8	MgO, maksimum	0,60 [®]	0,60 [®]	0,60 [®]	0,60 [®]	0,60 [®]
9	SO ₃ , maksimum					
	Jika C3A ≤ 8,0	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
	Jika C3A > 8,0	3,5		4,5		
10	Hilang pijar, maksimum	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
11	Bagian tak larut, maksimum	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5
12	C3S, maksimum	-	-	-	35	-
13	C2S, minimum	-	-	-	40	-
14	C3A, maksimum	-	80	15	7	5
15	C4AF + 2 C3A atau C4AF + C2F, maksimum	-	-	-	-	25
<p>Catatan :</p> <p>Syarat kuat tekan ini berlaku jika syarat kalor hidrasi seperti tercantum pada tabel syarat fisika tambahan atau jika syarat C3S + C3A seperti tercantum pada tabel syarat kimia tambahan diisyaratkan.</p>						

Untuk persyaratan fisika pada semen dagang B, dapat diperlihatkan pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Syarat fisika semen dagang B

No	Uraian	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1	Kehalusan :					
	Uji permeabilitas udara, m ² /kg					
	Dengan alat :					
	Turbidimeter, min	160	160	160	160	160
	Blaine, min	280	280	280	280	280
2	Kekekalan :					0,8
	Pemuaian dengan autoclave, maks %	0,80	0,80	0,80	0,80	0
3	Kuat tekan :					
	umur 1 hari, kg/cm ² , minimum	-	-	120	-	-
	umur 3 hari, kg/cm ² , minimum	125	100	240	-	80
			70 [®]			
	umur 7 hari, kg/cm ² , minimum	200	175	-	70	150
	umur 28 hari, kg/cm ² , minimum	280	-	-	170	210
4	Waktu pengikatan (metode alternatif) dengan alat :					
	Gillmore					
	° Awal, menit, minimal	60	60	60	60	60
	° Akhir, menit, maksimum	600	600	600	600	600
	Vicat					
	° Awal, menit, minimal	45	45	45	45	45
	° Akhir, menit, maksimal	375	375	375	375	375
Catatan Syarat kuat tekan ini berlaku jika syarat kalor hidrasi seperti tercantum pada tabel syarat fisika tambahan atau jika syarat C ₃ S + C ₃ A seperti tercantum pada tabel syarat kimia tambahan diisyaratkan.						

3. Semen Dagang C :

CaO = 49,5%

SiO = 28,5%

Al₂O₃ = 8,7%

Fe₂O₃ = 1,8%

MgO = 6%

Berat jenis : 2,97 g/cm³

Berat Isi : 0,99 g/cm³

Blaine : 5,300 cm²/g

Pada klasifikasi semen diatas menjelaskan tentang klasifikasi semen jenis

C menggunakan standar sesuai API 10A sebagai acuan produksi semen.

2.3 Beton

Beton adalah campuran agregat halus dan agregat kasar sebagai bahan pengisi. Ditambah semen dan air yang digunakan sebagai bahan pengikat dan atau menggunakan bahan tambahan. Sekarang ini penggunaan beton banyak digunakan untuk sebagai konstruksi, misalnya jalan, jembatan, lapangan terbang, waduk, bendungan dan lainnya.

Dengan melakukan analisa bahan maka dalam hal pembuatan beton harus lebih teliti dengan berbagai macam material-material yang digunakan dalam pembuatan tersebut, dikarenakan apabila suatu material dalam beton itu tidak bagus maka hasil dari beton tersebut tidak akan mencapai pada hasil yang diinginkan. Sehingga dengan diadakannya analisa bahan terhadap material yang akan digunakan untuk pembuatan beton maka hasil dapat diperoleh dengan baik.

2.3.1 Jenis beton

Berdasarkan teknik pembuatannya, beton dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu :

1. Beton Biasa

Beton ini langsung dibuat dalam keadaan plastis, dan cara pembuatannya berdasarkan atas :

- Beton siap pakai (*Ready Mix Concrete*).
- Beton dibuat langsung pada lapangan.

2. Beton *Precast*

Beton ini dibuat dalam bentuk elemen-elemen yang merupakan bagian dari suatu konstruksi. Bagian yang akan menjadi beton ini dipasang dalam keadaan mengeras.

3. Beton *Prestress*

Beton ini dibuat dengan memberi tegangan dalam pada beton sebelum mendapat beban luar.

4. Beton Hampa

Beton hampa adalah beton yang setelah diaduk dan dituang serta dipadatkan sebagaimana beton biasa, air sisa reaksi disedot dengan cara khusus, disebut cara vakum (*vacuum method*). Air yang tertinggal hanya air yang dipakai untuk reaksi dengan semen sehingga beton yang diperoleh sangat kuat.

Berdasarkan bahan penyusunnya, beton dapat dibedakan menjadi beberapa jenis diantaranya yaitu :

1. Beton serat (*Fiber Concrete*)

Beton serat adalah bahan komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Serat dalam beton ini berfungsi untuk mencegah retak-retak sehingga menjadikan beton lebih daktail daripada beton biasa.

2. Beton non-pasir (*No-Fines Concrete*)

Beton non-pasir adalah bentuk sederhana dari jenis beton ringan yang diperoleh dengan cara menghilangkan bagian halus agregat pada pembuatan beton. Tidak adanya agregat halus dalam campuran menghasilkan suatu sistem berupa keseragaman rongga yang terdistribusi di dalam massa beton, serta berkurangnya berat jenis beton.

3. Beton Siklop

Beton siklop adalah beton normal (beton biasa) yang menggunakan ukuran agregat yang relatif lebih besar. Ukuran agregat mencapai 20 cm, namun proporsi agregat yang lebih besar ini sebaiknya tidak lebih dari 20 % agregat seluruhnya.

4. Beton Mortar

Beton mortar adalah adukan yang terdiri dari pasir, bahan perekat, dan air. Mortar dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu : mortar lumpur, mortar kapur, dan mortar semen.

2.3.2 Sifat-sifat beton segar

Sifat-sifat beton perlu diketahui untuk mendapatkan mutu beton yang diharapkan sesuai tuntutan konstruksi dan umur bangunan yang bersangkutan. Pada saat segar atau sesaat setelah dicetak, beton bersifat plastis dan mudah dibentuk. Sedang pada saat keras, beton memiliki kekuatan yang cukup untuk menerima beban. Sifat beton segar yang baik sangat mempengaruhi kemudahan pengerjaan sehingga menghasilkan beton dengan berkualitas baik. Adapun sifat-sifat beton segar adalah :

1. Kemudahan pengerjaan (*workabilitas*)

Sifat ini merupakan ukuran dari tingkat kemudahan campuran untuk diaduk, diangkat, dituang dan dipadatkan tanpa menimbulkan pemisahan bahan susunan pembentuk beton. Sifat *workabilitas* beton segar ditandai dengan enam karakter yaitu : konsistensi, plastisitas (*plasticity*), kemudahan dituang (*placeability*), keenceran (*flowability*), kemudahan dirapikan (*finishability*), dan kemudahan dipompa (*pumpability*). Secara garis besar sekurang-kurangnya terdapat tiga sifat yang terpisah dalam mendefinisikan sifat ini, yaitu:

- a. Kompakabilitas, kemudahan beton dipadatkan
- b. Mobilitas, kemudahan beton mengalir dalam cetakan
- c. Stabilitas, kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang *homogen*, *koheren* dan stabil selama dikerjakan atau dipadatkan.

Tingkat kompakabilitas campuran tergantung pada nilai faktor air semennya. Semakin kecil nilai faktor air semen, adukan beton semakin kental dan kaku sehingga makin sulit untuk dipadatkan. Sebaliknya semakin besar nilai faktor air semen adukan beton semakin encer dan semakin sulit untuk mengikat agregat sehingga kekuatan beton yang dihasilkan semakin rendah. Pengamatan *workabilitas* beton di lapangan pada umumnya dilakukan dengan *slump test*. Pengetesan ini merupakan petunjuk dari sifat mobilitas dan stabilitas beton. *Slump test* bermanfaat untuk mengamati variasi keseragaman campuran. Pada beton biasa, pengujian *slump* dilakukan untuk mencatat konsistensi dalam satuan mm penurunan benda uji beton segar selama pengujian. Selain itu *workabilitas* dapat juga diamati dengan mengukur faktor kepadatan, yaitu rasio antara berat aktual beton dalam silinder dengan berat beton dalam kondisi padat pada silinder yang sama. Faktor kepadatan memberikan indikasi bahwa tingkat kemampuan beton tersebut dipadatkan.

2. *Bleeding*

Bleeding adalah pengeluaran air dari adukan beton yang disebabkan oleh pelepasan air dari pasta semen. Sesaat setelah dicetak, air yang terkandung di dalam beton segar cenderung untuk naik ke permukaan. Naiknya air ke

permukaan dan bersamaan dengan turunnya bahan ke dasar disebabkan oleh pengaruh gravitasi akibat berat sendiri sebagai fenomena alamiah atau proses “*specific sedimentation*“. Adapun penyebab *bleeding* adalah ketidakmampuan bahan padat campuran untuk menangkap air pencampur. Ketika *bleeding* sedang berlangsung, air campuran terjebak di dalam kantong-kantong yang terbentuk antara agregat dan pasta semen (*matriks*). Sesudah *bleeding* selesai dan beton mengeras, kantong-kantong menjadi kering ketika berlangsung perawatan dalam keadaan kering. Akibatnya apabila ada tekanan, kantong-kantong tersebut menjadi penyebab mudahnya retak pada beton, karena kantong-kantong hanya berisi udara dan bahan lembut semacam debu halus.

3. Pemisahan kerikil (*segregasi*)

Segregasi adalah kecenderungan pemisahan bahan-bahan pembentuk beton. Terdapat dua bentuk segregasi beton segar yaitu:

- b. Partikel yang lebih kasar cenderung memisahkan diri dari partikel yang lebih halus.
- c. Terpisahnya air semen dari adukan.

Segregasi sangat besar pengaruhnya terhadap sifat beton keras. Jika tingkat segregasi beton sangat tinggi, maka ketidaksempurnaan konstruksi beton juga tinggi. Hal ini dapat berupa keropos, terdapat lapisan yang lemah dan berpori, permukaan nampak bersisik dan tidak merata.

Segregasi disebabkan oleh :

- Penggunaan air pencampur yang terlalu banyak
- Gradasi agregat yang jelek
- Kurangnya jumlah semen
- Cara pengelolaan yang tidak memenuhi syarat.

2.4 Bahan Pengisi (*Filler*) Beton

Dalam pembentukan sebuah material beton yang memiliki kualitas yang baik, dalam hal ini meliputi kuat tekan, kuat lentur serta mengurangi adanya retak pada beton itu sendiri. Maka sangat diperlukan bahan tambahan halus yang berupa bahan pengisi (*filler*). Bahan pengisi (*filler*) pada beton adalah sekumpulan mineral agregat yang umumnya lolos saringan No. 200 yang mengisi di antara

partikel beragregat kasar dalam rangka mengurangi besar rongga dan meningkatkan kerapatan dan stabilitas dari massa tersebut. Rongga udara pada agregat kasar diisi dengan partikel lolos saringan No.200, membuat rongga udara lebih kecil dan kerapatan massanya lebih besar.. Penggunaan bahan pengisi (*filler*) diperlukan untuk meningkatkan viskositas beton guna menghindari terjadinya *bleeding* dan segregasi dalam Widodo, 2001. Klasifikasi bahan pengisi (*filler*) dapat dilihat dari **Tabel 2.4** di bawah ini :

Tabel 2.4 Klasifikasi bahan pengisi (*filler*)

Tipe I	Inert atau semi inert	* Mineral filler (limstone, dolomite,dll) * Ground glass filler
Tipe II	Pozzolanik	* Fly ash * Silica fume
	Hidrolik	* Granulated blast-furnace slag (GGBS)

(Sumber: Efnarc Association, *The European Guideliness For Self Compacting Concrete*)

2.5 Kuat Tekan Beton

Menurut SK SNI M - 14 -1989 - E kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Sedangkan kuat tekan beton mengidentifikasi mutu sebuah struktur di mana semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A}$$

dengan :

$f'c$ = Kuat Tekan Beton (MPa)

P = Beban runtuh/gaya tekan (KN)

A = Luas Penampang benda uji (cm²)

2.6 Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton

Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton adalah pengaruh cuaca buruk berupa pengembangan dan penyusutan yang diakibatkan oleh petrgantian panas dan dingin, daya perusak kimiawi, seperti air laut (garam), asam sulfat, alkali, limbah, dan lain-lain. Selain itu daya tahan terhadap haus (*abrasi*) yang disebabkan oleh gesekan orang berjalan kaki, lalu lintas, gerakan ombak, dan lain-lain.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton, yaitu :

1. Bahan-bahan penyusutan beton seperti air, semen, agregat, *admixture*, bahan tambahan.
2. Metode pencampuran sebagai penentuan proporsi bahan, pengadukan, pengeceron, pemadatan.
3. Perawatan pada pembasahan (perendaman), suhu dan waktu.
4. Keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan, yang terutama dipengaruhi oleh lingkungan setempat.

Zat-zat yang dapat mengurangi kekuatan tekan beton ditinjau dari aksinya, zat-zat yang berpengaruh buruk tersebut pada beton dibedakan menjadi 3 macam, yaitu:

1. Zat yang mengganggu proses hidrasi semen.
2. Zat yang melapisi agregat sehingga mngganggu terbentuknya lekatan yang baik antara agregat dan pasta semen.
3. Butiran-butiran yang kurang tahan cuaca, yang bersifat lemah dan menimbulkan reaksi kimia antar agregat dan pasta semen.

Zat-zat ini dapat berupa kandungan organik, lempung, atau bahan-bahan halus lainnya, misalnya *silt* atau debu pecahan batu, garam, *shale* atau lempung kayu, arang, *pyrites* (tanah tambang yang mengandung belerang) dan lain-lain.

2.7 Faktor Air Semen (FAS)

Faktor Air Semen adalah perbandingan antara berat air dan berat semen dalam campuran adukan beton. Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai FAS, maka semakin rendah mutu / kekuatan beton. Nilai FAS yang rendah di tambah dengan kekuatan agregat yang baik dipercaya dapat meningkatkan mutu

beton. Tapi nilai FAS yang terlalu rendah dapat mengurangi kemudahan pekerjaan pada beton itu sendiri.

2.8 Hubungan Faktor Air Semen dengan Kuat Tekan Beton

Menurut *Teori Feret* (Mulyono, 2004) mengemukakan suatu rumusan umum hubungan matematis antara kuat tekan beton dengan volume *absolut* semen, udara dan air sebagai berikut :

$$s = K \left(\frac{c}{c+e+a} \right)^2$$

dengan :

S = Kuat tekan beton

K = Konstanta

c = Volume absolut semen

e = Volume absolut air

a = Volume absolut udara

Sedangkan berdasarkan *Teori Abrams* (Mulyono, 2004) mengemukakan teorinya yang terkenal dengan nama *Abram's law*. Teori ini dijabarkan dalam bentuk matematis sebagai berikut:

$$f^c_c = \left(\frac{A}{B^{1,5}} \right) \cdot \frac{w}{c}$$

dengan :

f^c_c = Kuat tekan beton (kg/cm²)

A = Konstanta empirik biasanya diambil 984

B = Konstanta yang tergantung pada jenis semen dan biasa diambil 4

$\frac{w}{c}$ = Faktor air semen

Dalam praktek untuk mengatasi kesulitan pekerjaan karena rendahnya nilai FAS maka digunakan bahan tambah "*Admixture Concrete*" yang bersifat menambah keenceran "*Plasticizer Admixture*".

2.9 Porositas Beton

Porositas memiliki nilai penting pada suatu material beton. Nilai porositas berhubungan langsung dengan sifat mekanik beton seperti kekedapan, keawetan bahkan dengan kekuatan beton dalam hal ini kuat tekan beton. Ruang pori pada beton umumnya terjadi akibat kesalahan dalam pelaksanaan dan pengecoran seperti: faktor air-semen yang berpengaruh pada lekatan antara pasta semen dengan agregat, besar kecilnya nilai slump, pemilihan tipe susunan gradasi agregat gabungan, maupun terhadap lamanya pemadatan. Semakin tinggi tingkat

kepadatan pada beton maka semakin besar mutu beton itu sendiri, sebaliknya semakin besar porositas beton, maka kekuatan beton akan semakin kecil. Menurut Powers (1959), semakin kecil air yang mengisi ruang dari tiap unit semen (semakin kecil w/c ratio) pada awal proses pengikatan, maka proporsi pori-pori kapiler dalam semen akan semakin baik (semakin kecil). Menurut Powers, porositas terbuka terisi oleh *evaporebel water*. *Evaporebel water* adalah air yang dapat menguap dan sebagian besar merupakan air yang berda didalam kapiler atau yang tertahan oleh gaya-gaya permukaan dalam substansi gel itu sendiri. Powers and Brownyard (1974) dalam Ogy (2011) akibat adanya proses hidrasi, kadar air yang tidak dapat menguap ini akan bertambah jumlahnya, sehingga kadar *evaporebel water* menjadi berkurang, karena rongga –rongga yang ada akan terisi oleh produk hidrasi.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Powers tersebut berlaku pada kondisi beton yang tidak mengalami perubahan temperatur yang cukup tinggi. Karena benda yang mengalami temperatur yang cukup tinggi akan mengalami banyak perubahan. Antara lain perubahan dimensi, sifat listrik, sifat mekanik, sifat optik, dsb. Dengan adanya perubahan tersebut maka porositas pun akan mengalami perubahan dibandingkan dengan beton yang tidak mengalami temperatur tinggi.

2.10 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas juga sering kita kenal dengan *modulus young*. Modulus ini adalah sebuah konstanta bahan yang mempunyai nilai tertentu untuk suatu bahan tertentu. Tiap bahan mempunyai nilai modulus elastisitas tersendiri yang memberi gambaran mengenai perilaku bahan tersebut bila mengenai beban tarik atau tekan. Bila nilai modulus elastisitas semakin kecil, maka semakin mudah bagi suatu bahan untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan (Amalia, 2009)

Modulus elastisitas beton merupakan kemiringan garis singgung (*slope* dari garis lurus yang ditarik) dari kondisi tegangan nol ke kondisi tegangan 0,45 f_c pada kurva tegangan-regangan beton. Modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh jenis agregat, kelembaban benda uji beton, faktor air semen, umur beton dan temperaturnya. Secara umum, peningkatan kuat tekan beton seiring dengan peningkatan modulus elastisitasnya. Menurut SNI 03-4169-1996 mengenai

pengujian modulus elastisitas dan rasio poisson beton dengan kompresor ekstensometer., nilai modulus elastisitas dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0,000050)}$$

dengan :

E = Modulus elastisitas beton (N/mm²)

S₂ = Tegangan yang terjadi saat tegangan 40% P maksimum, S₂ = P₂/A

P₂ = Beban pada saat 40% P maksimum

S₁ = Tegangan yang terjadi saat tegangan *longitudinal* mencapai 0,000050, S₁ = P₁/A

P₁ = Beban pada saat tegangan *longitudinal* mencapai 0,000050

Selain dengan menggunakan rumus menurut SNI 03-4169-1996 , nilai modulus elastisitas juga dapat dicari dengan pendekatan rumus empiris yang ada pada SK SNI 03-2487-2002 yaitu :

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c}$$

Menurut *hukum Hooke* regangan berbanding lurus dengan tegangan total, dan dalam hal ini dinyatakan dalam rumus $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$, dimana E adalah modulus elastisitas , σ adalah tegangan total dan ϵ adalah regangan. *Hukum hooke* hanya berlaku untuk bahan bahan yang elastis linier, akan tetapi untuk bahan yang elastis non-linier *hukum hooke* sudah tidak berlaku. Dalam hal ini dikarenakan karena bahan yang elastis non-linier akan mengalami pertambahan panjang yang sama dengan panjang bahan semula, sehingga besarnya $\sigma = E.\epsilon$

2.11 Perawatan Beton (*curing*)

Perawatan ini dilakukan setelah beton mencapai *final setting*, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan, agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan dilakukan minimal selama 7 (tujuh) hari dan beton berkekuatan awal tinggi minimal selama 3 (tiga) hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab, kecuali dilakukan dengan perawatan yang dipercepat. Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kekedapan terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi struktur.

Jenis-jenis perawatan beton antara lain:

1. *Steam Curing*
Menguntungkan bila menginginkan kekuatan awal. Panas tambahan dibutuhkan untuk menyelesaikan hidrasi.
2. Penyemprotan (*Fogging*)
Metode yang baik untuk kondisi dengan suhu di atas suhu beku dan *humiditas* rendah. Kekurangannya yaitu biaya dan dapat menyebabkan erosi pada permukaan beton yang baru mengeras.
3. Penggenangan / Perendaman
Ideal untuk mencegah hilangnya *moisture*. Mempertahankan suhu yang seragam. Kekurangannya yaitu membutuhkan tenaga kerja yang banyak, perlu pengawasan, dan tidak praktis untuk proyek yang besar.
4. Lembaran Plastik (sesuai ASTM C171)
Lapisan *polythylene* dengan ketebalan 4 ml. Kelebihannya yaitu ringan, efektif sebagai penghalang hilangnya *moisture*, dan mudah diterapkan. Kekurangannya yaitu dapat menyebabkan *discoloration* permukaan, lebih terlihat bila lapisan plastik bergelombang dan diperlukan penambahan air secara periodik.
5. Penutup Basah (sesuai ASTM C171)
Menggunakan bahan yang dapat mempertahankan *moisture* seperti *burlap* (karung goni) yang dibasahi. Kelebihannya yaitu tidak terjadi *discoloration* dan tahan terhadap api. Kekurangannya yaitu memerlukan penambahan air secara periodik dan diperlukan lapisan plastik penutup burlap untuk mengurangi kebutuhan penambahan air.
6. *Curing Compound* (sesuai ASTM C171)
Membentuk lapisan tipis pada permukaan untuk menghalangi penguapan. Efisiensinya dites dengan ASTM C156.

2.12 Penelitian Terdahulu

Mineral piropilit dimanfaatkan pada beberapa penelitian. *Review* dari penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan diantaranya :

- Mutrofin (2005) meneliti tentang material piropilit Sumbermanjing Malang Selatan. Diketahui bahwa ternyata piropilit mengandung unsur silika yang

cukup besar (85% dari total unsur penyusun piropilit), dan sangat bagus digunakan sebagai *filler* mengingat ukuran butirannya sesuai dengan ukuran butiran *filler*.

- Anggraini, *et al* (2006) mencoba memanfaatkan piropilit sebagai bahan tambahan dalam pembuatan *paving stones*. Dengan penambahan 10% mineral piropilit, maka akan menghasilkan kekuatan yang meningkat sampai lebih kurang 20% dari kekuatan awal. Peningkatan kekuatan ini terjadi karena semen telah mengaktifasi mineral piropilit yang digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan *paving stones*.
- Anggraini (2007) penggunaan piropilit sebagai bahan tambahan pada beton dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga lebih kurang 42% pada variasi piropilit 15%. Semen adalah bahan yang bisa memacu proses aktivasi mineral piropilit. Sejalan dengan tercapainya proses aktivasi mineral piropilit inilah maka peningkatan kuat tekan beton bisa terjadi. Penelitian terdahulu belum pernah memanfaatkan piropilit sebagai bahan pengganti sebagian tanah liat pada batu bata dalam rangka meningkatkan kekuatan tekan batu bata.

2.13 Hipotesis

Dari berbagai kajian teori dan permasalahan yang telah diuraikan diatas, maka pada penelitian yang disajikan hipotesis penelitian sebagai berikut :

1. Terdapat pengaruh penggunaan piropilit terhadap porositas beton piropilit
2. Terdapat pengaruh dari jenis semen terhadap porositas beton piropilit.
3. Terdapat pengaruh penggunaan piropilit terhadap modulus elastisitas beton piropilit
4. Terdapat pengaruh dari jenis semen terhadap modulus elastisitas beton piropilit.