BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dengan adanya penemuan bahan bangunan dari baja maka dapat dibuktikan bahwa material bangunan yang telah dikenal sebelumnya dan dipakai dalam konstruksi pada umumnya mempunyai beberapa kekurangan bila dibandingkan dengan baja.

Rokach (1991) menyatakan bahwa keuntungan utama penggunaan elemen baja apabila dibandingkan dengan material lainnya seperti kayu dan beton, adalah tegangannya relatif tinggi. Oleh karenanya struktur baja sangat sering digunakan dalam suatu konstruksi, terutama konstruksi dengan bentang lebar dan tinggi.

Schodek (1991) mengemukakan awal mulanya aplikasi kabel pada gedung modern, yaitu pada tahun 1896, dimana V.Sookhov mendesain struktur paviliun pada pameran Nijny-Novgorod. Kemudian struktur-struktur yang dibangun berikutnya adalah paviliun lokomotif pada Chicago World's Fair pada tahun 1933 dan Livestock judging Pavilion yang dibangun di Raleigh, north Carolina pada sekitar tahun 1950. Sejak saat itu sangat banyak dibangun gedung yang menggunakan struktur kabel.

2.2 Definisi Atap Gantung

Kiong (1968) mendefinisikan atap gantung merupakan salah satu tipe atap dimana atap langsung didukung oleh pilar atau kolom bangunan melalui penggantung yang terbuat dari kawat-kawat baja yang dijalin menyerupai pola puntiran (*twisted)* menjadi satu bentuk *strand*, kemudian dari setiap *strand* tersebut dijalin menjadi satu menyerupai pola puntiran dengan arah jalinan yang berlawanan pada setiap *strand*, untuk membentuk kabel penggantung (*rope*)

Khrisna (1978) menyatakan bahwa atap gantung merupakan konstruksi atap yang dibangun berdasarkan sistem kabel yang digunakan untuk menahan beban elemen struktur.

2.3 Macam-Macam Atap Gantung

Menurut Khrisna (1978) ragam kabel yang digunakan atap gantung dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu :

a. *Cable Supported Roof /Cable Stayed Roof*

Sistem *Cable Stayed Roof* memiliki konsep bahwa kabel berfungsi sebagai penggantung utama atap terhadap menara, sehingga menghasilkan kekakuan yang lebih besar dan lendutan yang lebih kecil, serta menjadikan sistem atap lebih ringan dan memiliki dimensi rangka yang lebih kecil.

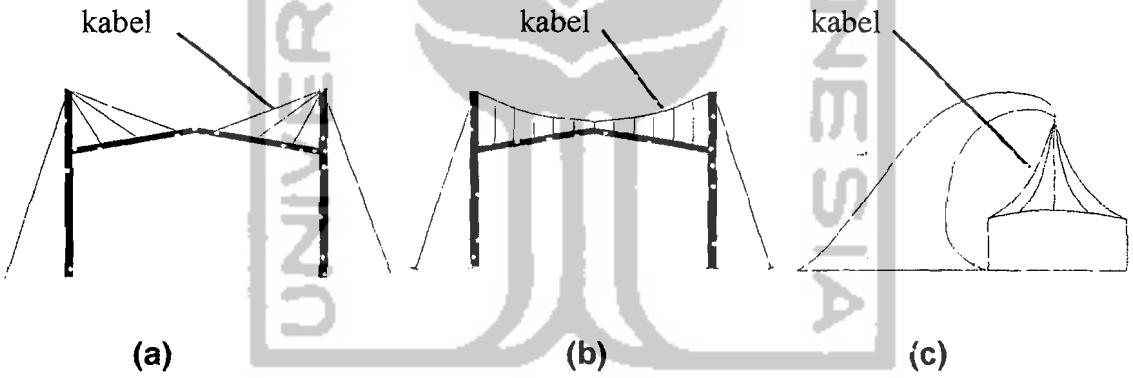
Sebagai contoh, atap jenis ini digunakan di *Australia Pavilion For The 1970 International Exposition in Osaka*-Jepang, yang mempunyai ketinggian 39 m dan bentang diameter 48,8 m.

b. *Cable Suspended Roof*

Sistem *Cable suspended Roof* memiliki konsep menggantungkan elemen atap dengan perantara penggantung (*hanger*) atau batang tulangan ke kabel utama yang berbentuk kurva parabolik.

c. *Cable Cum Air Supported Roof*

Baru-baru ini berkembang dengan pesat dan menjadi pusat perhatian masyarakat karena keindahan estetikanya, tipe tersebut berbentuk seperti kubah dan struktur tenda yang didukung oleh kombinasi kabel dan penggantung menara .



Gambar 2.1 (a) Cable supported roof, (b) Cable suspended roof, (c) Cable cum air supported roof

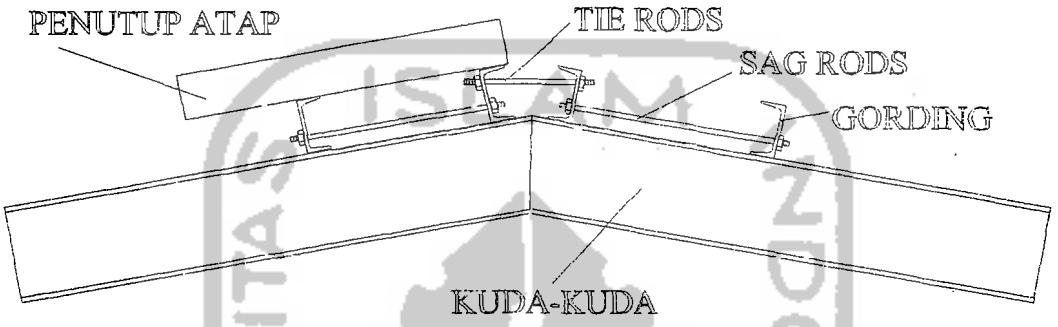
2.4 Bagian Utama Konstruksi Atap Gantung

Bagian utama dari struktur atap gantung pada umumnya terdiri dari struktur bagian atas (*upper structure*) dan struktur bagian bawah (*sub structure*).

2.4.1 Struktur bagian atas (*upper structure*)

Struktur bagian atas adalah bagian dari konstruksi atap gantung yang berfungsi sebagai penutup langsung terhadap bangunan sekaligus juga penahan

gaya-gaya beban yang terjadi padanya. Bagian tersebut terdiri dari penutup atap, gording, Sag rods, ikatan angin (*bracing*), kuda-kuda, balok , kolom , sistem penggantung, kabel, pelana (*Saddle*), sistem menara dan sambungan.



Gambar 2.2 Bagian-bagian atap

a. Penutup atap.

Penutup atap merupakan elemen struktur yang berfungsi sebagai pelindung dan penahan langsung terhadap cuaca dan segala beban yang terjadi, serta melimpahkan beban dan gaya ke gording, yang dalam hal ini adalah profil baja. Mengingat bahwa perkembangan disain bangunan yang semakin berkembang, maka perlu di imbangi oleh model-model atap yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan atap. Sehingga pada akhirnya disain bangunan tidak terhambat lagi oleh keterbatasan pilihan model atap.

b. Gording.

Gording atau gelagar yang berupa profil baja berfungsi sebagai penghubung langsung terhadap segala beban yang terjadi di penutup atap dan melimpahkan beban-beban tersebut ke kuda-kuda.

c. Sag rods.

Adanya kemiringan atap mengakibatkan gording tidak mampu menahan momen puntir yang diakibatkan oleh komponen gaya yang tegak lurus terhadap pelat badannya (*web*). Untuk menghindari keruntuhan elemen gording, maka dipakailah Sag Rods. Sag rods berupa tulangan yang mampu mendukung gaya tarik yang terjadi. Sedangkan banyaknya sag rods yang dipasang tergantung pada besarnya komponen gaya sejajar dengan bidang atap yang harus dipikulnya.

d. Ikatan angin (*bracing*).

Bracing pada umumnya digunakan untuk memberikan kekakuan pada bangunan terhadap pengaruh gaya-gaya horisontal seperti angin, gempa dan lain-lain. Karena bentuknya yang saling bersilangan, ikatan angin (*bracing*) biasa disebut pula dengan *diagonal bracing*.

Ditinjau dari bentuknya, ikatan angin (*bracing*) dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu : *side bracing* , *roof bracing* dan *end bracing*.

1). *Side bracing*

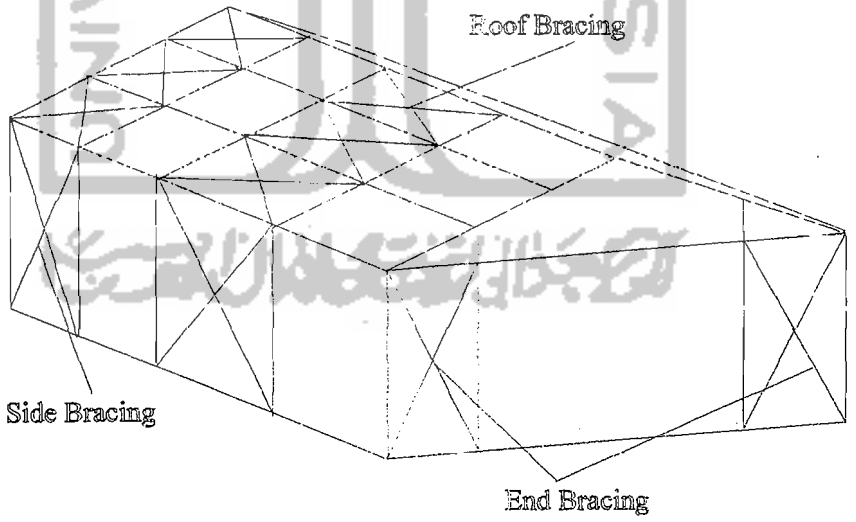
Merupakan ikatan angin yang terdapat pada dinding bangunan. *Diagonal side bracing* yang menerus adalah lebih baik dari pada sebagian-sebagian saja, karena bangunan akan menjadi lebih kaku. Secara teroritis memang cukup apabila salah satu sisi bangunan di berikan satu *diagonal side bracing*, namun dipandang dari sudut lamanya gedung tersebut dapat dipakai, maka *diagonal side bracing* dapat dipakai pada interval-interval tertentu atau minimal terdapat dua buah pada setiap sisi.

2). *Roof bracing*

Merupakan ikatan angin yang terdapat pada kuda-kuda atap (pada bidang tepi atas dan bawah). Fungsinya juga sebagai pengaku dan terutama diperlukan sekali pada saat pemasangan (*erection*) kuda-kuda, disamping itu ia juga menahan puntir yang disebabkan oleh angin.

3). *End bracing*

Merupakan ikatan angin yang terletak pada kedua ujung dari suatu bangunan. Ikatan angin ini dipakai karena biasanya pada ujung bangunan terdapat pintu-pintu yang besar, sedangkan struktur pada ujung bangunan harus sekaku mungkin, sehingga perlu dicermati dalam memberikan penyelesaian untuk memberikan kekakuan. Setidak-tidaknya dapat diusahakan penempatan *diagonal end bracing*.



Gambar 2.3 Ikatan angin (*bracing*)

e. Kuda-kuda

Kuda-kuda merupakan rangkaian elemen struktur (dalam hal ini baja) yang terletak di atas dukungan kolom, balok, dinding bangunan, yang membentang seluas ruangan. Kuda-kuda berfungsi sebagai pendukung utama dari beban-beban yang bekerja dalam struktur atap kemudian meneruskan beban-beban yang bekerja tadi ke kolom. Kemiringan batang tepi atas (*top chord*) biasanya ditentukan oleh macam atap yang akan dipakai, kadang-kadang dipengaruhi juga oleh kebutuhan akan adanya ventilasi dan penerangan.

f. Balok

Balok merupakan elemen struktur yang dibebani oleh adanya gaya lentur. Balok menerima beban yang bekerja secara transversal dan longitudinal disebut balok-kolom. Beban-beban yang bekerja secara transversal adalah beban-beban berat sendiri balok dan beban dari struktur atap Sedangkan beban-beban yang bekerja secara longitudinal adalah gaya-gaya geser yang terjadi pada tepi struktur atap.

g. Kolom/menara

Kolom adalah batang tekan dari suatu struktur yang menerima beban dari balok. Kolom/menara meneruskan beban-beban dari elemen atas ke elemen yang lebih bawah, hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi. Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada suatu kolom dapat menyebabkan runtuhnya bangunan.

h. Sistem penggantung (*Hanger Suspender*)

Penggantung berfungsi sebagai pemikul struktur atap dan melimpahkan beban atau gaya yang terjadi ke kabel. Penggantung ini umumnya terdiri dari *wire rope* atau *rod* (batang baja bulat). Sedangkan sambungan yang menghubungkan antara kabel penggantung dengan kabel disebut dengan *cable band* yang akan memegang kabel dengan kuat untuk menghindarkan terjadinya *slip*. Untuk meratakan gaya lekat yang terjadi pada kabel pada umumnya diberi timah hitam di antara kabel dengan *cable band*.

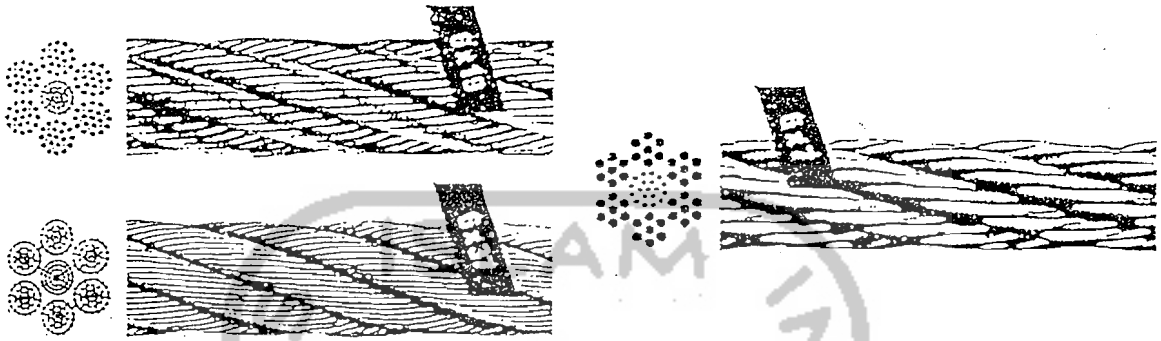
i. Kabel

Kabel berfungsi sebagai pemikul beban dan gaya-gaya yang bekerja pada batang penggantung serta menyalurkannya ke tiang (*main tower*) dan blok angkur. Kabel berupa liiitan kawat baja yang dibuat dari baja mutu tinggi yang mempunyai tegangan leleh yang tinggi. Bentuk dari kabel pada umumnya dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

1). *Spiral strand* atau *Twisted Wire Rope*

Kabel ini biasa digunakan untuk atap dengan bentang pendek, yang terdiri dari kawat-kawat baja yang dijalin dengan cara yang menyerupai pola puntiran (*twisted)* menjadi satu bentuk *strand*, kemudian setiap *strand* tersebut dijalin menjadi satu dengan cara yang menyerupai pola puntiran dengan arah jalinan yang berlawanan dengan arah jalinan setiap *strand*, membentuk *rope*. Setiap tali (*rope*) terdiri tujuh *strand* dan setiap *strand* berisi 7, 19, 37, 61 kawat (*wires*). Tipe ini mempunyai kerugian yaitu

kekuatan kabel (*breaking strength*) lebih kecil dari pada *paralel wire strand.*



Gambar 2.4 *Twisted Wire Rope* (sumber : Kavanagh, 1990)

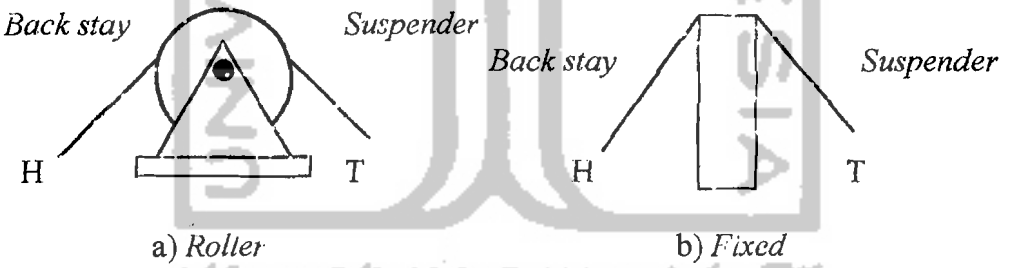
2). *Parallel Wire Strand*

Kabel jenis ini, terdiri dari sejumlah kawat yang sejajar satu sama lain, membentuk sebuah *strand*, dan sebuah kabel terdiri dari 7, 19, 37, 61 *strand.* Sistem ini mempunyai keuntungan yaitu selain harganya lebih murah, tegangan yang timbul lebih merata dibandingkan dengan kabel jenis lain (modulus elastis mencapai 28 x 10^6 lb/in^2 (193 kN/mm^2)), sambungan pada angkur lebih mudah dan aman, serta dapat digunakan untuk segala bentang.

Gambar 2.5 *Parallel Wire Strand* (sumber : Kavanagh, 1990)

j. Pelana (*Saddle*)

Posisi *saddle* pada ujung menara berfungsi sebagai perletakan dari kabel utama. Pelana umumnya terbuat dari *cast steel*. Perletakan ini dapat bersifat dukungan jepit atau sendi rol. Penggunaan hubungan jepit atau rol ini berpengaruh pada menara atau *tower* (gambar 2.2). Jika digunakan dukungan *fixed*, maka gaya horisontal pada puncak harus diperhitungkan karena dapat mengakibatkan momen pada menara atau *tower*. Sedangkan pada dukungan rol (*roller movable*) gaya tersebut dapat dieliminir, tetapi efek dari eksentrisitas reaksi vertikal akibat bergeraknya rol harus diperhitungkan serta memerlukan pemeliharaan yang lebih sulit.



Gambar 2.6 Pelana *Tower (Saddle)*

k. Sambungan

Menurut Morisco (1991), sambungan di dalam struktur baja merupakan bagian yang tidak mungkin diabaikan, karena kegagalan pada sambungan dapat mengakibatkan kegagalan struktur secara keseluruhan. Sedangkan sambungan itu sendiri diperlukan apabila :

1) Batang standar tidak cukup panjang.

2) Sambungan yang dibuat, untuk menyalurkan gaya dari bagian yang satu ke bagian yang lainnya, misal sambungan antara balok dan tiang.
3) Sambungan pada struktur rangka batang (*truss*), dimana batang-batang penyusun saling membentuk keseimbangan pada satu titik, umumnya diperlukan pelat simpul sebagai media penyambung.
4) Sambungan yang disengaja dibuat untuk membentuk sendi Gerber.
5) Untuk membentuk batang tersusun.
6) Pada tempat dimana terdapat perubahan dimensi penampang lintang batang, akibat perubahan besarnya gaya batang.

Selain hal tersebut di atas, terdapat syarat-syarat sambungan yang harus diperhatikan :

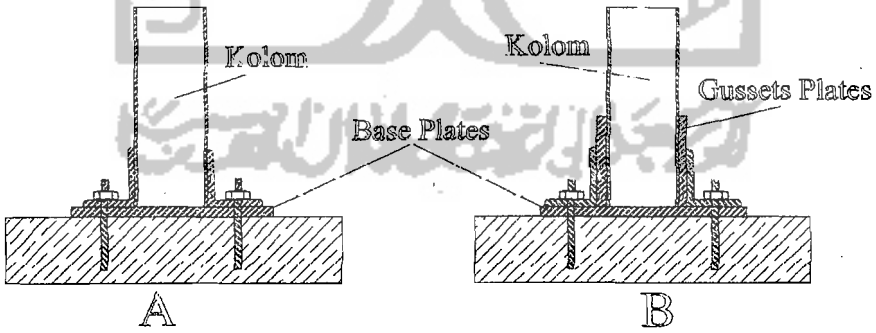
1) Harus kuat, aman tetapi cukup hemat.
2) Di tempat yang mudah terlihat, sambungan seyogyanya dibuat seindah mungkin.
3) Mudah dilaksanakan, baik pada saat pabrikasi maupun pemasangannya di lapangan.
4) Karena kekakuan dari sambungan baut dan las berbeda, maka pada satu titik sambungan sebaiknya dihindari penggunaan alat penyambung yang berbeda-beda.

2.4.2 Struktur bagian bawah (*sub structure*)

Struktur bagian bawah adalah bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai pemikul bangunan atas berupa beban dan gaya-gaya yang bekerja. Bangunan struktur bawah, terdiri dari:

a. Pondasi (*Column Base Plate*).

Merupakan elemen struktur paling bawah dari suatu bangunan, yang berfungsi menahan segala beban dari bangunan yang kemudian diteruskan ke dalam tanah. Menurut Vazirani (1977), dalam perencanaan, pondasi selalu diasumsikan kaku, sehingga distribusi tekanan tanah di dasar pondasi adalah sama ketika terjadi beban terpusat ke kolom, dan distribusi tekanan tanah berupa linier, ketika pondasi dibebani oleh kombinasi beban yang tidak terpusat.



Gambar 2.7 A. Slab Base ; B. Gusseted Base

Terdapat dua macam *column base plate*, diantaranya :

1) *Slab bases.*

Digunakan untuk pondasi yang menerima beban ringan, sehingga base plate mampu menyalurkan beban dari kolom menuju pondasi.

2) *Gusseted bases.*

Digunakan untuk menahan beban dari kolom yang sangat besar. Prinsip dasar penggunaan bentuk ini, adalah ketika terjadi beban yang besar, beban yang terjadi disalurkan secara sebagian ke pelat dasar (*base plate*) dan sebagian lagi disalurkan ke *gusset plate.*

b. Blok angkur (*Anchors*)

Blok angkur berfungsi sebagai penahan gaya tarik yang bekerja pada kabel, kemudian melimpahkan gaya-gaya yang dipikulnya ke dalam tanah. Menurut bentuknya terdapat beberapa macam angkur, antara lain :

1). *Gravity Anchors*

Angkur jenis ini paling sering dipilih dan paling mudah untuk digunakan. Karena konsep perencanaan angkur ini didasarkan pada gaya pada kabel, maka angkur secara langsung harus kuat menahan gaya tarik akibat gaya yang terjadi pada kabel. Dengan demikian semakin besar angkur yang didapat, semakian besar pula kekuatan gravitasinya, sehingga semakin kuat menahan gaya pada kabel.

2). *Rock Anchors*

Sangat menguntungkan apabila di lokasi bangunan terdapat batu, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai angkur. Namun demikian perlu dicermati

pula mengenai beban tahanan atau gravitasi yang terjadi pada angkur ini, sehingga kuat menahan gaya pada kabel.

3). *Plate anchors*

Angkur ini berupa sebuah pelat pondasi yang terletak di dalam tanah, dapat berbentuk persegi dan lingkaran pada bagian bawahnya. Lebih efektif digunakan dari pada bentuk lainnya, karena letaknya di dalam tanah, menyebabkan daya dukung angkur dalam tanah mampu menahan gaya tarik kabel.

4). *Tension Pile*

Berupa pondasi dalam, berfungsi sebagai angkur, tetapi biasa digunakan untuk menahan gaya tarik kabel yang sangat besar.

Sedangkan kuat tarik baja untuk angkur dan lekatan antara tanah kohesif dan selubung angkur (injeksi beban), dapat diterangkan dalam tabel di bawah ini yang bersumber dari Koerner (1984), sebagai berikut:

Tabel 2.1 Kuat tarik baja untuk angkur (sumber : Koerner, 1989)

Diameter (cm)	Luas (cm^2)	Berat kN/m	Kuat Tarik ultimate (MN/m^2)	Beban yang diperhitungkan (kN)		
				100%	80%	70%
2,50	4,91	43,2	1,0	570	450	400
2,50	4,91	43,2	1,1	610	485	420
3,20	8,00	64,2	1,0	830	670	580
3,20	8,00	64,2	1,1	890	700	620
3,50	9,62	77,5	1,0	1000	830	730

Tabel 2.2 Lekatan antara tanah dan selubung angkur (injeksi beban)
(sumber : Koerner, 1989)

Tipe tanah	Perlawanan standard Penetration (Pukulan / 30 cm)	Lekatan antara tanah dan selubung angker (kPa) KN/m²
Lempung lunak	2 - 4	24 - 36
Lempung ke lanauan	3 - 6	24 - 48
lempung ke pasiran	3 - 6	36 - 48
lempung (medium)	4 - 8	36 - 60
Firm clay	6 - 12	48 - 72
stilf clay	8 - 15	48 - 96
very stilf clay	15 - 30	72 - 120
Hard clay	> 30	72 - 192