

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

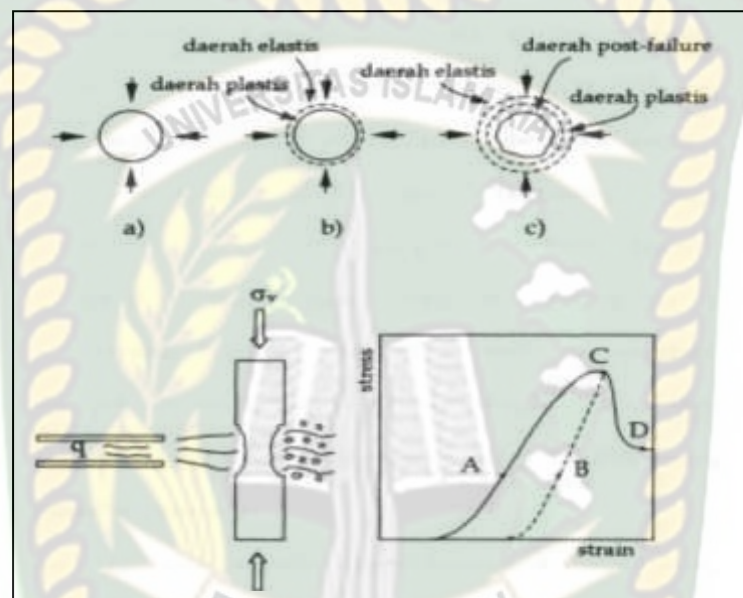
2.1. Mekanisme Terproduksinya Pasir

Pada Gambar 2.1 memperlihatkan keadaan kerusakan perforasi dengan suatu test triaxial-failure. Pada titik A, keadaan dimana beban berupa tekanan overburden yang masih kecil (beban arah vertikal, σ_v), dibutuhkan laju alir fluida, q yang besar untuk membuat batuan pada tempat tersebut berceraai-berai. Pada Gambar a) menunjukkan keadaan lubang perforasi pada σ_v (*in-situ stress*) yang kecil tidak memiliki daerah plastis, sehingga untuk terproduksinya pasir diperlukan laju alir, q yang besar melalui lubang perforasi. Terproduksinya pasir jenis ini disebut *Tensile-type sand production*. (Coberly, C.J., 1937: 4)

Pada titik C, ketika beban bertambah atau σ_v besar, batuan pada tempat tersebut akan mulai pecah. Pada saat laju alir fluida, q yang kecil melalui lubang perforasi maka terjadilah produksi pasir dari formasi yang dilalui fluida produksi. Pada Gambar b), pada keadaan tersebut lubang perforasi mempunyai daerah plastis yang mulai membesar dan merupakan awal dari rusaknya lubang perforasi, dilanjutkan dengan pasir terproduksi ke permukaan. Terproduksinya pasir jenis ini disebut *Shear-type sand production*. Pada titik B, keadaan dimana beban pada lokasi yang dilalui fluida produksi terlepas (σ_v menurun) setelah membesarnya daerah plastis, partikel-partikel pasir akan dapat terproduksi dengan laju alir fluida, q yang kecil. Terproduksinya pasir jenis *Tensile-type sand production* ini sering terjadi ketika sumur ditutup (*shut in*).

Pada titik D, setelah beban yang meningkat terus pada batuan mencapai puncaknya (maksimal) pada titik C, penambahan beban berikutnya akan mengurangi kekuatan formasi namun formasi masih dapat menerima beban tersebut dengan sisa kekuatan formasi yang ada. Pada Gambar c) merupakan daerah post-failure yang sudah rapuh, namun terdapat beberapa bagian daerah tersebut yang masih tersisa di sekitar lubang perforasi dan mendukung lubang perforasi dengan kekuatan-kekuatan sisa formasi yang ada. Beberapa daerah post failure perforasi berbentuk pasir-pasir bersudut (*sand arches*).

Pada umumnya, kekuatan tensile daerah post-failure cukup rendah sehingga daerah tersebut dapat tererosi dengan mudah oleh laju alir fluida, q yang kecil. Peningkatan laju erosi sejalan meningkatnya kekuatan laju alir fluida produksi dan terproduksinya pasir akan berlaku seperti *Tensile-type sand production*. (Coberly, C.J., 1937: 5)



Gambar 2.1 Mekanisme Terproduksinya Pasir (Coberly, C.J., 1937)

2.2. Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Terjadinya Kepasiran

Lingkungan pengendapan pasir pada umumnya terbentuk dalam dua kondisi, yaitu: marine dan non-marine. Formasi endapan marine umumnya sementasi antar butir adalah mineral calcareous atau siliceus, sehingga membentuk batu pasir yang kokoh dan terkonsolidasi. Formasi pasir endapan non-marine yang disementasi oleh mineral clay, silt, dan aspal membentuk batu pasir yang lemah dan tidak terkonsolidasi dengan baik. Pada formasi batu pasir non-marine inilah sering dijumpai terjadinya masalah kepasiran. (Purnama, 2011)

Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya kepasiran, dimana selain diakibatkan oleh laju produksi yang tidak dikendalikan juga dipengaruhi oleh kondisi formasi itu sendiri, yang meliputi:

1. Sementasi batuan
2. Kekuatan formasi

2.2.1. Sementasi batuan

Suatu formasi batu pasir dikatakan mempunyai kekompakan yang tinggi apabila formasi tersebut mempunyai derajat sementasi batuan pasir yang tinggi pula, dimana derajat sementasi batuan pasir menunjukkan kadar shale di dalam batuan. Apabila kadar shale di dalam batuan cukup tinggi, maka ikatan antara batuan pasir sebagai matrik batuan akan lebih baik. (Amyx, J.W., 1960)

Persamaan empiris yang memperlihatkan hubungan antara derajat sementasi, porositas, dan faktor resistivitas batuan, dikemukakan oleh Archi, sebagai berikut :

$$S_w = \frac{FRw}{Rt} \dots\dots\dots (1)$$

$$F = \frac{1}{\phi^m} \dots\dots\dots (2)$$

Harga faktor sementasi batuan untuk tiap jenis batuan berbeda-beda, umumnya berkisar antara 1,3 – 2,2. Harga “m” yang semakin tinggi menunjukkan sementasi yang semakin kuat, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1. Kandungan clay (shale) pada batuan reservoir secara teoritis merupakan faktor yang menunjang sementasi batuan, akan tetapi dari segi yang lain, umumnya mempunyai kecenderungan untuk mengembang (swelling) jika kena air. Clay yang mengembang tersebut akan menyebabkan turunnya faktor sementasi batuan.

Tabel 2.1 Klasifikasi Batuan Berdasarkan Faktor Sementasi

Jenis Batuan	m
Highly Cemented Lime Stone, dolomite, quartzite	2.0 – 2.2
Moderatly Cemented Consolidate sand	1.8 – 2.0
Slightly Cemented Friable, Crumbly Sand	1.4 – 1.7
Unconsolidate Sands	1.3

Sumber : Amyx, J.W. (1960)

2.2.2. Kekuatan formasi

Kekuatan formasi adalah ketahanan formasi tersebut terhadap gaya-gaya yang bekerja padanya. Gaya-gaya tersebut dapat merupakan gaya yang diakibatkan oleh beban overburden dari lapisan-lapisan batuan di atas formasi

tersebut (*initial state of stress*), ataupun oleh gaya-gaya yang timbul kemudian sebagai implikasi dari kegiatan produksi.

2.3. Jenis Pasir

1. Pasir layang (*quick sand*), yaitu pasir yang mudah melayang di fluida sehingga menyebabkan terproduksi bersama fluida.
2. Pasir mampat (*packed sand*) yaitu pasir dengan sementasi rendah dan berongga. Bila padatan pasir ini pecah dapat menimbulkan masalah kepasiran periodik.
3. Pasir gugur (*friable*) yaitu pasir dengan sementasi cukup, tetapi mudah ter-erosi aliran fluida. Gejala nyata adalah bila produksi stabil maka jumlah pasir terproduksi berkurang. (Rike, J.L., 1968: 2)

2.4. Sebab – Sebab Pasir Ikut Terproduksi

1. Apabila produksi sumur sangat besar akan menyebabkan tidak terbentuknya busur pasir (*sand-arch*).
2. Sementasi pasir terlarut oleh air formasi apabila kadar air produksi melebihi 10 %.
4. Turunnya tekanan reservoir menyebabkan kenaikan relatif tekanan overburden sehingga menghancurkan formasi. (Pearson, R.M., 1982)

2.5. Persoalan Yang Dihadapi Karena Sumur Kepasiran

1. Akumulasi pasir (*sand bridge*) di perangkat produksi sumur dapat mematikan sumur.
2. Dapat menimbulkan kerusakan pada perangkat produksi sumur seperti pipa sembur, pompa, katup, jepitan, pipa salur di permukaan dan fasilitas produksi lainnya.
3. Menyebabkan persoalan pembuangan pasir.
4. Selubung atau sulur dapat collapse akibat tidak ratanya pembebanan axial. (Rike, J.L., 1975: 4)

2.6. Penanggulangan Kepasiran Dengan *Gravel Pack*

Gravel pack merupakan salah satu metode *sand control* yang paling banyak digunakan sampai saat ini. Tujuan dari *gravel packing* adalah untuk mencegah produksi pasir dari formasi yang *unconsolidated* atau *weakly cemented* tetapi *rate* produksi dari sumur tersebut masih cukup besar. (Penberthy dan Shaughnessy, 1992)

Prinsip *gravel pack* adalah mencegah terproduksinya pasir dengan memasang *gravel* yang mempunyai permeabilitas yang tinggi tetapi tidak dapat dilewati oleh partikel pasir formasi. Supaya *gravel* dapat terlepas dari tempatnya maka dipasang *screen*, *slotted liner* atau *prepacked screen*. Untuk memaksimalkan produktivitas maka harus diusahakan sekecil mungkin tercampurnya pasir formasi dan *gravel*. Biasanya ukuran partikel pasir formasi lebih besar dari pori-pori yang dibentuk oleh butiran *gravel* sedangkan ukuran lubang *screen* dibuat lebih kecil dari ukuran butiran *gravel*. (Saucier, 1974)

Pemakaian *gravel* itu baik untuk formasi yang tebal, seragam (*uniform*) dan halus. Keseragaman dan ukuran butiran berhubungan dengan perencanaan ukuran *gravel*. Selain itu perencanaan *gravel* tergantung pula kepada pengalaman seseorang. Dewasa ini para ahli cenderung untuk memakai *gravel* berukuran lebih kecil. (Penberthy, W.L., Jr., 1980)

Kelebihan penggunaan *gravel pack* antara lain :

1. Efektif digunakan pada zona produksi yang intervalnya panjang.
2. Dapat digunakan untuk sumur yang sudah lama dan telah memproduksi pasir.
3. Mempunyai permeabilitas yang relatif tinggi dan dapat diterapkan pada formasi yang mempunyai permeabilitas bervariasi.

Kekurangan *gravel pack* antara lain :

1. Berkurangnya diameter lubang sumur karena adanya *screen* di dalam lubang sehingga dapat mengganggu operasi yang lain.
2. *Screen* yang digunakan harus tahan terhadap korosi dan erosi yang disebabkan oleh fluida produksi.

2.7. Penanggulangan Kepasiran Dengan *Liner Completion*

Metode ini biasa digunakan untuk formasi produktif dengan faktor sementasi antara 1,4 sampai 1,7. Alat ini berbentuk pipa dan mempunyai sejumlah lubang pada sisinya dengan ukuran tertentu. Tujuan pemasangan alat ini adalah untuk menahan laju aliran butiran pasir yang terikut dalam fluida reservoir, sehingga fluida melaju tanpa adanya hambatan. Secara ideal, lebar lubang (slot) pada liner harus dapat menahan butiran pasir tetapi tidak membatasi aliran fluida. (Coberly, C.J., 1937)

Percobaan yang dilakukan oleh Coberly menyatakan bahwa batas tertinggi lebar lubang tidak boleh lebih dari dua kali diameter 10 percentile agar dapat menahan secara efektif. Untuk menahan formasi pasir yang tidak seragam, dimana butiran sulit untuk ditahan atau sering terjadi perubahan kecepatan aliran, dianjurkan menggunakan lebar lubang sama dengan diameter 10 percentile, atau : $W = D_{10}$. Liner completion dapat dibedakan menjadi dua berdasarkan cara pemasangan liner-nya, yaitu : screen-liner completion dan perforated liner completion.

2.7.1. Screen dan Liner Completion

Dalam metode ini casing dipasang sampai puncak dari lapisan atau zone produktif. Kemudian liner dipasang pada formasi produktif yang dikombinasikan dengan screen sehingga pasir yang ikut aliran produksi tertahan oleh screen. (Mahardhini, 2015)

Kelebihan *screen and liner completion* :

1. Formasi damage selama pemboran melewati zone produktif dapat dikurangi.
2. Tidak ada biaya perforasi.
3. Dapat disesuaikan dengan cara khusus untuk mengontrol pasir.
4. Pembersihan lubang dapat dihindarkan.

Kekurangan *screen and liner completion* :

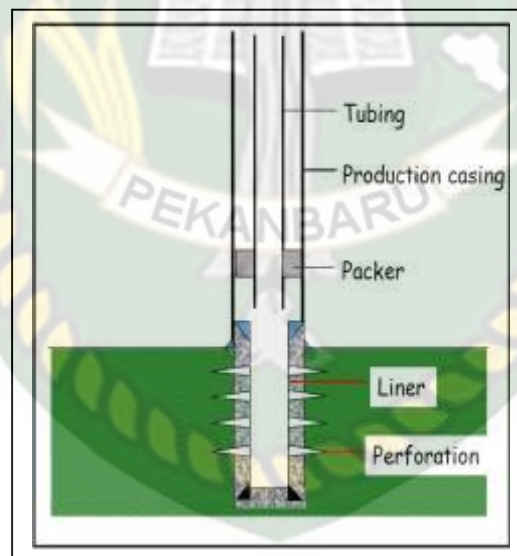
1. Produksi air dan gas sulit dikontrol.
2. Stimulasi tidak dapat dilakukan secara selektif.

3. Rig time bertambah dengan digunakannya cable tool.
4. Sumur tidak mudah ditambah kedalamannya.
5. Fluida tidak mengalir dengan diameter penuh.

Di dalam screen liner completion, dijumpai beberapa macam jenis screen liner yang dapat digunakan, yaitu slotted screen liner atau screen liner dengan lubang berupa celah yang horizontal atau vertikal, wire wrapped screen liner yaitu pipa saringan berupa anyaman dan prepack screen liner yang berupa pipa saringan terdiri dari 2 pipa yang diantaranya diisi oleh gravel. (Solum, J.R., 1984)

2.7.2. *Perforated Liner Completion*

Dalam metode ini casing dipasang di atas zona produktifnya dibor dan dipasang casing liner dan disemen. Selanjutnya liner diperforasi untuk produksi. (Penberthy, 1980)



Gambar 2.2 *Liner Completion* (Penberthy, 1980)

2.8. Analisis Butiran Pasir

Untuk menentukan penyebaran (distribusi) batuan formasi produktif, dengan *sieve analysis*, yaitu metoda yang proses pengayakan dari suatu sampel yang telah dibersihkan dengan menggunakan beberapa tingkatan saringan yang

mempunyai ukuran (skala *mesh*) berbeda, dimana ukuran saringan terbesar terletak di atas dan seterusnya ke bawah makin kecil. (Ballard, Tracey., 2013)

Langkah kerjanya adalah sebagai berikut :

1. Ambil contoh batuan yang sudah berupa butiran dan sudah kering.
2. Sediakan dan timbang 100 atau 200 gram sampel tersebut.
3. Sediakan *sieve analysis* yang telah bersih.
4. Susunlah sieve di atas alat pengguncang dengan mangkuk pada dasar, sedangkan sieve diatur dari yang paling halus di atas mangkuk dan yang paling besar pada puncak.
5. Tuangkan dengan hati-hati sampel kedalam sieve yang paling atas, kemudian pasang tutup dan kencangkan bagian penguatnya.
6. Guncangkan selama 30 menit.
7. Tuangkan isi sieve yang paling kasar (atas) ke dalam mangkuk.
8. Tuangkan isi sieve yang paling halus berikutnya ke dalam mangkuk tadi juga, kemudian timbang berat kumulatifnya. Teruskan cara tersebut sampai isi seluruh sieve ditimbang secara kumulatif .

Dari berat timbangan secara kumulatif dapat dihitung juga berat sampel dalam tiap tiap sieve dengan mengurangi suatu berat kumulatif sebelumnya. Dari hubungan antara persentase butiran yang lolos dengan diameter saringan dalam skala logaritma, dapat diketahui kurva sebaran (distribusi) pembagian ukuran butiran yang dapat menunjukkan keseragaman sampel yang bersangkutan. (Shryock, 1983)

Tiga karakteristik dari kurva distribusi ukuran butiran yang seringkali digunakan untuk menggambarkan deskripsi pasir yaitu :

1. Median, D_{50} , yaitu diameter butir pada titik 50% pada kurva.
2. Koefisien kekompakan (*sorting coefficient*) yang didefinisikan oleh Corelab sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{\sqrt{D_{25}}}{D_{75}} \dots\dots\dots (3)$$

3. Koefisien keseragaman (*uniformity confident*)

$$C = \frac{D_{40}}{D_{90}} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana D_{90} , D_{75} , D_{50} , D_{40} , dan D_{25} adalah diameter ukuran butir pada titik 90, 75, 50, 40 dan 25 yang lolos saringan. Jika $C = 1$ dan $\phi = 1$ sampel bergradasi baik (*well graded/perfect uniform*). (Rike, J.L., 1978)

Adapun jenis tapisan yang dapat dipakai dalam industri adalah sebagai berikut (Purnama, 2011) :

1. Slotted pipe.

Pipa mempunyai lubang irisan membujur atau melintang. Keuntungannya adalah murah. Kerugiannya adalah ukuran slot terkecil relatif masih terlalu besar untuk gravel terbesar, pipa mudah terkena korosi, dan mudah terkikis.

2. Wire Wrapped Screen

Kawat stainless steel dililitkan pada pipa. Tapisan ini adalah yang paling umum dipakai. Berbentuk grooved, ribbed, wrapped on pipe, dan all welded.

3. Prepacked Screen.

Gravel yang resin coated sudah ditempatkan di antara 2 tapisan sebelum dipasang di sumur. Cocok digunakan untuk interval panjang karena mudah Penempatannya. Diperlukan fluida kompleksi yang bersih agar prepacked screen tidak buntu. Tapisan sering rusak karena korosi atau termakan pasir karena tapisan terluar langsung berhadapan dengan perforasi.

2.9. Penanggulangan Kepasiran Menggunakan *Premium Screen* dan *Guard*

Premium Screen terbuat dari material *stainless steel* yang terdiri dari pipa yang memiliki lapisan dasar yang berlubang dan lapisan filter mesh yang dilindungi oleh lapisan luar yang berlubang. Lapisan filter mesh memberikan ukuran pori yang akurat, mempunyai ketahanan retensi padatan yang baik, laju alir maksimum dan ketahanan terhadap penyumbatan. Lapisan penyaringan mempertimbangkan stabilitas ukuran pori, kekokohan, kekuatan dan permeabilitas. Lapisan luar yang tahan terhadap erosi dapat melindungi lapisan penyaringan selama instalasi.

Premium Screen mempertahankan kekuatannya selama pemasangan tanpa mengubah bukaan pori filter. Dengan konstruksi unik dan perforasi basepipe yang optimal, *Premium Screen* ini secara merata dapat mendistribusikan aliran di seluruh area mesh dan mengurangi risiko penyumbatan pada permukaan *screen*. Gambar 2.3 memperlihatkan bentuk *Premium Screen*, *Premium Screen* ini digunakan khusus pada *artificial lift* HPU. (BOB PT. BSP-Pertamina Hulu)



Gambar 2.3 *Premium Screen* (BOB PT. BSP-Pertamina Hulu)

Kelebihan penggunaan *premium screen* antara lain :

1. Akurasi ukuran pori yang tinggi untuk kinerja filtrasi maksimum.
2. Memberikan kontrol pasir pada berbagai ukuran partikel.
3. Tahan korosi dan erosi.
4. Meminimalkan penurunan tekanan.
5. Mudah digunakan.
6. Dapat digunakan untuk sumur yang sudah lama dan telah memproduksi pasir.
7. Umur panjang dalam lingkungan produksi yang keras.

Kekurangan *premium screen* antara lain :

1. Perlu dilakukan pengontrolan rutin.
2. Ukuran *Screen* yang digunakan harus sesuai dengan keadaan sumur produksi.

Guard terbuat dari bahan *stainless steel* dengan desain luar yang ramping dan bentuk yang lebih sederhana dari *premium screen* yang dapat menghemat waktu dalam pemasangannya. Slot khusus yang digunakan memungkinkan aliran minyak maksimum ke dalam pompa dan meminimalisir butiran pasir masuk. *Guard* memiliki ketahanan terhadap korosi. Gambar 2.4 memperlihatkan bentuk *Guard*, *Guard* ini digunakan khusus pada *artificial lift* ESP. (BOB PT. BSP-Pertamina Hulu)



Gambar 2.4 *Guard* (BOB PT. BSP-Pertamina Hulu)

Kelebihan penggunaan *guard* antara lain :

1. Memperpanjang hidup pompa.
2. Retensi padatan lebih tinggi.
3. Tahan terhadap korosi dan erosi.
4. Menghemat waktu pemasangan.
5. Dapat digunakan untuk sumur yang sudah lama dan telah memproduksi pasir.
6. Memiliki bentuk yang lebih sederhana dari *premium screen*.

Kekurangan *guard* antara lain :

1. Ketahanan penyumbatan perlu ditingkatkan.
2. *Screen* yang digunakan harus sesuai dengan keadaan sumur produksi.

2.10. Koefisien keseragaman Butir Pasir dan Ukuran Screen

Dalam menentukan koefisien keseragaman butir pasir digunakan metode *Schwartz*. *Schwartz* membuat sebuah korelasi untuk ukuran optimal butir pasir berdasarkan persebaran ukuran butir formasi. Korelasi *Schwartz* didasarkan pada *uniformity* dari formasi dan kecepatan saat menembus *screen*. *Uniformity Coefficient* ditentukan dari perbandingan ukuran butir pada titik 40% berat kumulatif kurva *sieve analysis* (D_{40}) terhadap ukuran butir pada titik 90% berat kumulatif kurva *sieve analysis* (D_{90}). (Purnama, 2011)

D_{40} merupakan ukuran butir dengan diameter dari *formation size* yang mana 40% dari butir merupakan butir dari diameter terbesar. Untuk lebih memastikan persebaran ukuran *screen*, *Schwartz* memberi rekomendasi persebaran ukuran *screen* yang diplot dalam garis lurus pada *standard semilog plot* dan *uniformity coefficient*.

Uniformity Coefficient :

$$C = \frac{(D_{40})}{(D_{90})} \dots\dots\dots (5)$$

- Jika $C < 3$: ukuran butir pasir seragam dan deskripsi terbaik adalah dengan menggunakan ukuran (D_{10}).
- Jika $3 < C < 5$: ukuran butir pasir tidak seragam dan deskripsi terbaik adalah dengan menggunakan ukuran (D_{40}).
- Jika $C > 5$: ukuran butir pasir sangat tidak seragam dan deskripsi terbaik adalah dengan menggunakan ukuran (D_{90}).

Coberly melakukan sebuah percobaan untuk menentukan ukuran yang tepat dari *slot screen* yang dapat mencegah masuknya pasir ke dalam sumur produksi minyak. Dari beberapa *bridging test* yang dilakukan menggunakan *stell ball* dan *actual oil sands*, Coberly menarik kesimpulan :

- Butir sperikal membentuk *bridges* yang stabil pada *slots* dengan ukuran diameter dua kali lebih kecil dari ukuran awalnya.
- Angularity* tidak banyak berpengaruh terhadap kekuatan dari *bridge* dari beberapa partikel.
- Dalam campuran, pengaruh *bridging* sangat besar terhadap butir terbesar.

4. Untuk *oil sands* (atau campuran lain yang memiliki ukuran butir yang besar), maka butir tersebut akan mem-*bridge* diameter *slot* mendekati dua kali ukuran *screen* yang 90% butirnya akan lolos (10% tertahan).

Penerapan prinsip ini juga harus disertai kekuatan material yang mampu bertahan apabila terjadi *differential pressure* yang melewati *bridge* ini. *Bridge* dimulai ketika dua partikel besar masuk ke dalam rekahan secara bersamaan dan partikel tersebut saling menahan satu sama lainnya sehingga menyebabkan *stuck* pada partikel tersebut. Selanjutnya partikel yang lebih kecil akan mengalami hal serupa sehingga celah yang semula membesar akan semakin mengecil. Konsep *bridge* ini juga sering diterapkan untuk menangani masalah *lost circulation*.

Penentuan ukuran *screen* dilakukan berdasarkan penelitian Coberly. Penelitian tersebut dijadikan sebagai rujukan dalam industri karena memberikan hasil yang baik. Pada penelitian Coberly penentuan ukuran *screen* harus lebih kecil dua kali lipat dari diameter butir pada titik 10 % berat kumulatif pada kurva *sieve analysis* (D_{10}), dalam inch (Coberly, C.J., 1937)