

APLIKASI METODE *COMMON REFLECTION SURFACE* (CRS) UNTUK MENINGKATKAN HASIL STACK DATA SEISMIC LAUT 2D WILAYAH PERAIRAN “Y”

Hirafiany Daruartati, Agus Setyawan dan Istiqomah Ari Kusuma

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

Email: hirafiany@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Stacking is an important phase in the seismic data processing, it's a tool or quick look before subsurface section resulted. Common Reflection Surface is the developing of the conventional processing that has been generally done. CRS method has more benefits than conventional stack method, specially on the complex structure and do not rely on from velocity model that's really useful for seismic data processing. The main difference between CRS and conventional stacking mode is on stack parameter decision or the attribute connected to subsurface reflector. CRS application has been applied in the area “Y” using software ProMAX 2D. In this research by using marine seismic data has done five times using different aperture values, they are 150 m, 100 m, 67 m, 33 m, and 20 m for getting the best stack result. Based on the research can be concluded that CRS method has applicated successfully on the 2D marine seismic data having a better result than by using conventional method, proved by CRS method stack result can show the better reflector continuity and it increases the signal to noise ratio qualitative.

Keywords: Common Reflection Surface(CRS), stack, marine seismic data

ABSTRAK

Stacking merupakan tahapan penting dalam pengolahan data seismik, karena merupakan gambaran awal sebelum dihasilkannya penampang bawah permukaan bumi. Metode Common Reflection Surface (CRS) merupakan pengembangan dari metode konvensional yang umumnya sudah biasa dilakukan. Metode CRS memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode stack konvensional, terutama pada struktur yang dianggap kompleks dan tidak bergantung kepada model kecepatan yang sangat berguna bagi pengolahan data seismik. Perbedaan utama antara CRS dengan metode stacking konvensional terletak pada penentuan parameter atau atribut yang terkait dengan bentuk reflektor bawah permukaan. Aplikasi CRS telah dilakukan di wilayah perairan “Y” menggunakan software ProMAX 2D. Penelitian ini menggunakan data seismik laut dengan melakukan 5 kali proses penggunaan nilai aperture yang berbeda-beda yaitu 150 m, 100 m, 67 m, 33 m, dan 20 m untuk mendapatkan hasil stack yang optimal. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa metode CRS telah berhasil diaplikasikan pada data seismik laut 2D dengan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional, dibuktikan dengan hasil stack pada metode CRS mampu memperlihatkan kemenerusan reflektor yang lebih baik serta meningkatkan signal to noise ratio secara kualitatif.

Kata kunci: Common Reflection Surface (CRS), stack, data seismik laut

PENDAHULUAN

Pengolahan data seismik berfungsi untuk mengubah *field tape* (hasil rekaman data seismik) menjadi sebuah bentuk penampang dengan resolusi yang tinggi, dimana hasil penampang inilah yang nantinya akan diinterpretasikan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan. Selain itu, pengolahan data seismik juga bertujuan untuk meningkatkan *signal to noise ratio*. *Stacking* merupakan tahapan penting dalam pengolahan data seismik, karena merupakan gambaran awal sebelum dihasilkannya penampang bawah permukaan bumi. Hasil *stack* pada metode

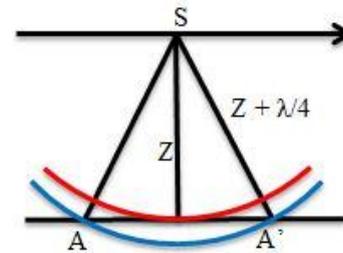
konvensional sangat bergantung pada model kecepatan, oleh karena itu pada penelitian ini akan dibahas bagaimana mendapatkan model kecepatan yang sesuai agar menghasilkan penampang yang lebih baik dalam proses pengolahan data seismik yaitu dengan metode CRS (*Common Reflection Surface*).

Metode CRS diperkenalkan oleh Müller sebagai metode *zero-offset* (ZO) data *driven* 2D yang tidak membutuhkan model kecepatan makro (Mann dkk, 2002). Metode CRS menambahkan parameter pada kemiringan reflektor bawah permukaan yang mampu menghasilkan penampang ZO (*Zero Offset*)

dimana pada metode konvensional sering disebut dengan NMO/DMO *Stack*. Parameter dalam atribut CRS saling independen yang terdiri dari sudut antara sinar ZO dengan bidang normal (α), radius kelengkungan gelombang *Normal Incidence Point* (R_{NIP}), dan radius kelengkungan gelombang normal (R_N). Pada metode konvensional, *stacking* dilakukan pada *trace* yang berasal dari satu titik pusat, yaitu CMP, sedangkan pada CRS *stack*, *stacking* dilakukan untuk menjumlahkan refleksi dari seluruh *source* dan *receiver* disekitar titik pusat refleksi. Semakin banyak *trace* yang *distack*, maka semakin baik peningkatan *S/N ratio* yang didapatkan. Penggunaan atribut CRS juga dapat digunakan untuk aplikasi lain seperti model kecepatan halus topografi (Oliva dkk, 2005), inversi *traveltime* (Biloti, 2002), dan implementasi metode CRS (Birgin dkk, 1999).

DASAR TEORI

CMP pertama kali diperkenalkan oleh Mayne tahun 1962. *CMP Stack* merupakan proses penjumlahan *trace-trace* dalam satu *gather* data setelah dilakukan koreksi NMO yang bertujuan untuk mempertinggi *signal to noise ratio* (S/N). Proses ini biasanya dilakukan berdasarkan CDP yaitu *trace-trace* yang tergabung pada satu CDP yang telah terkoreksi NMO, kemudian dijumlahkan untuk mendapat satu *trace* yang tajam dan bebas *noise inkoheren*. CMP dilakukan dengan cara menempatkan *trace* tepat ditengah (*mid point*) antara lokasi *source* dan *receiver*. Setiap titik CMP akan memiliki lebih dari satu pasangan *source-receiver*. *Trace* dengan titik CMP yang sama disebut *CMP gather*. Sinyal gelombang akan terlihat datar apabila pemilihan kecepatan NMO pada koreksi NMO tepat untuk tiap-tiap *CMP gather*. Sinyal gelombang primer akan diperkuat dengan melakukan penjumlahan dari seluruh *offset* pada tiap-tiap *CMP gather*, sedangkan untuk *random noise* sendiri akan melemah setelah proses penjumlahan ini. Oleh karena itu *CMP stack* dapat meningkatkan *signal to noise ratio* (Firliyadi, 2006).



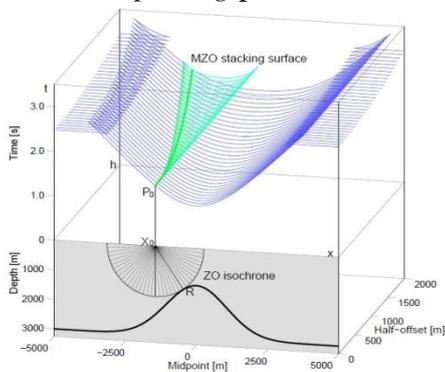
Gambar 1. Zona Fresnel; garis berwarna merah mengindikasikan frekuensi tinggi, sedangkan garis berwarna biru mengindikasikan frekuensi rendah (Modifikasi dari Taufiqurrahman, 2009)

Dalam metode seismik refleksi, frekuensi dari *wavelet* sumber terbatas oleh beberapa kriteria terkait dengan nilai efisiensi dari akuisisi data seismik. Tidak sesuai lagi jika terdapat asumsi bahwa refleksi dari satu sumber diatas permukaan hanya menggunakan satu titik, sebagaimana selama ini asumsi dalam pengolahan data seismik. Kenyataannya, refleksi ini mengasumsikan satu garis yang disebut Zona Fresnel, sehingga *raypath* tidak lagi memantul pada satu titik melainkan pada permukaan. Dengan menggunakan informasi dari respon refleksi di sekitar titik ZO sepanjang Zona Fresnel seperti gambar 1, akan didapatkan satu permukaan *stacking* untuk tiap ZO *point*, kemudian dilakukan penjumlahan sepanjang luasan permukaan *stacking* di titik ZO. Untuk tiap titik ZO dilakukan proses ini sepanjang reflektor target sehingga dihasilkan penampang *stacking* CRS. Radius Zona Fresnel dapat dituliskan dengan persamaan 1.

$$R_f = \frac{v}{2} \sqrt{\frac{t}{f}} \quad (1)$$

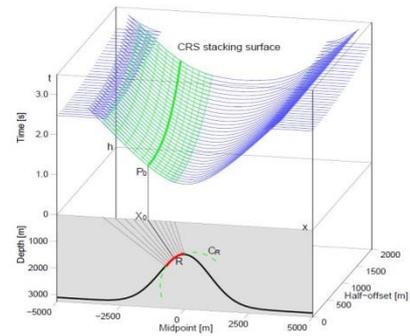
Metode *stacking* konvensional umumnya tidak memakai semua data *multicoverage* hanya menggunakan beberapa *gather* tertentu dalam proses *stacking*, sehingga terdapat beberapa jumlah *trace* yang diabaikan. Dimana *trace* yang diabaikan tersebut dapat menghasilkan informasi bawah permukaan bumi. Dalam metode *stacking* konvensional terdapat adanya ketidaktepatan pendekatan titik reflektor sebagai operator *stacking*. Oleh

karena itu, proses *stacking* dalam metode konvensional tidak mampu memperbaiki respon refleksi dengan tepat. Untuk mengatasi masalah tersebut, digunakanlah metode *Common Reflection Surface* (CRS). Perbedaan utama antara CRS dengan metode *stacking* konvensional terletak pada operator *stack* dan penentuan parameter atau atribut yang terkait dengan bentuk reflektor bawah permukaan. Selain itu, pada metode CRS tidak membutuhkan informasi kecepatan selain kecepatan medium dekat permukaan, karena biasanya pada metode *stacking* konvensional hasil *stacking* sangat tergantung pada model kecepatan melalui *picking* pada *semblance*.



Gambar 2. Operator *stacking* dari NMO/DMO *stack* (Jäger, 1999)

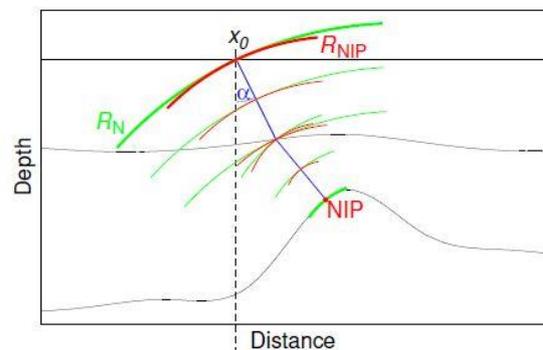
Gambar 2 menunjukkan gambaran operator metode *stacking* konvensional, dimana h adalah jarak *offset*, t merupakan waktu, dan x adalah CDP. Satu titik CDP memantulkan *ray* yang berbeda-beda, kumpulan dari beberapa *ray* tersebut dilakukan dengan penjumlahan sepanjang satu garis *multicoverage* data yang digambarkan dengan garis biru lalu dikumpulkan menjadi satu *trace* yang mewakili di titik P_o . Kurva hiperbolik yang terdapat antara sumbu h dan sumbu t disebabkan karena adanya faktor *offset*, sehingga dibutuhkan analisa kecepatan supaya *gather* menjadi lurus. Proses *stacking* pada *CMP Stack* atau konvensional hanya sepanjang garis berwarna hijau tebal, sedangkan operator *CMP Stack* diilustrasikan dengan garis berwarna hijau muda.



Gambar 3. Operator *stacking* dari CRS *stack* (Jäger, 1999)

Gambar 3 menunjukkan gambaran operator CRS *Stack*. Metode ini dapat mendekati bentuk bawah permukaan dibandingkan dengan metode konvensional, dengan menghitung jarak *CMP* dan *CDP* yang ada disekitarnya tanpa membutuhkan analisa kecepatan. Dalam *stacking* pada proses CRS *Stack*, dilakukan penjumlahan sepanjang permukaan *mid point half offset* yang ditandai dengan garis warna hijau yang hasilnya dikumpulkan di titik P_o .

Operator ZO CRS *Stack* terdapat 3 parameter yang tidak bergantung pada model kecepatan yaitu sudut antara sinar ZO dengan bidang normal atau sudut datang (α), radius kelengkungan gelombang *Normal Incidence Point* (R_{NIP}), dan radius kelengkungan gelombang normal (R_N). Gambar 4 merupakan ilustrasi mengenai 3 atribut CRS:



Gambar 4. *Curvature* gelombang Normal (hijau), NIP (merah), dan α (biru) (Mann, 2007)

Parameter R_{NIP} adalah jari-jari dari gelombang NIP yaitu gelombang yang menjalar

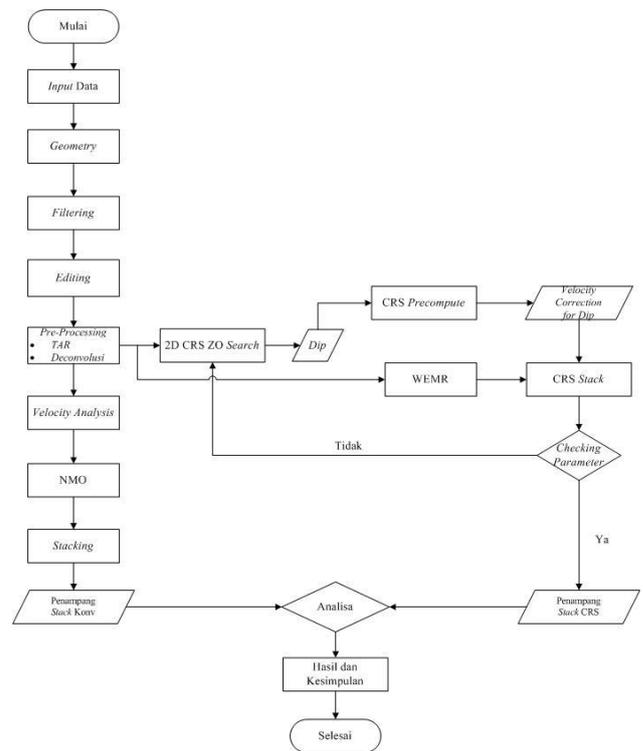
dari permukaan ke reflektor kemudian kembali lagi ke permukaan. Gelombang NIP mengerucut menjadi satu titik di reflektor dengan mengasumsikan selama perjalanan gelombang tidak ada energi yang hilang, gelombang yang mencapai satu titik di reflektor menjadi sumber gelombang baru yaitu gelombang NIP, sehingga parameter R_{NIP} dapat menentukan jarak dari reflektor ke titik X_0 . Parameter R_N adalah gelombang yang menjalar dengan arah normal yang membawa informasi mengenai bentuk kelengkungan dari reflektor. Gelombang N dihasilkan oleh sumber luasan di sekitar titik NIP. Kedua gelombang yang dibangkitkan oleh sumber di titik NIP dan segmen reflektor sekitar titik NIP ini akan merambatkan energi gelombang pada jalur yang berhimpit dengan *raypath zero offset* dan memiliki sudut datang yang diterima pada titik X_0 di permukaan. Sudut datang tersebut merupakan parameter α atau *emergence angle*. Parameter α (*emergence angle*) adalah sudut kritis antara sinar normal dengan permukaan pada X_0 atau sudut datang yang memiliki kaitan erat dengan kemiringan dari reflektor.

Secara matematis untuk CRS Stack digunakan ekspansi Taylor orde dua, dinyatakan dengan persamaan 2.

$$t^2_{(x_m, h)} = \left[t_0 + \frac{2\sin\alpha}{V_0}(x_m - x) \right]^2 + \frac{2t_0\cos^2\alpha}{V_0} \left[\frac{(x_m - x)^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}} \right] \quad (2)$$

dengan t_0 adalah *traveltime*, V_0 adalah kecepatan dekat permukaan dimana X_0 berada, X_m yaitu titik tengah sumber dan penerima, dan h adalah jarak antara sumber dan penerima.

METODE PENELITIAN



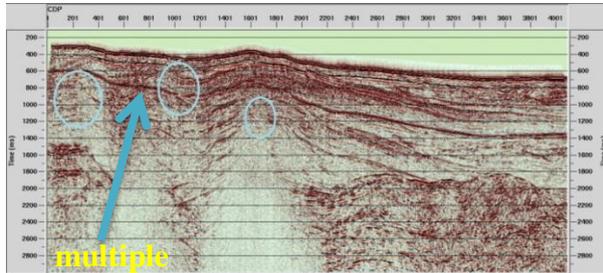
Gambar 5. Diagram alir penelitian

Pengolahan data seismik dengan *flow* pada Gambar 5 menggunakan *software* ProMax 2D. *Software* ProMax merupakan salah satu *software* untuk mengolah data seismik yang diproduksi oleh *Landmark Halliburton Ltd*. Tahapan awal pengolahan data dimulai dengan melakukan input data ke dalam *software* ProMax. Tahapan selanjutnya merupakan tahapan yang penting pada pengolahan data yaitu proses Geometri, Filtering, Editing, TAR, dan Dekonvolusi. Tahapan ini merupakan tahapan *pre-processing*. Tahapan *processing* meliputi analisis kecepatan, *stacking*, dan CRS. Sebelum melakukan pengolahan data menggunakan CRS, dilakukan WEMR (*Wave Equation Multiple Rejection*) untuk atenuasi *multiple* yang terdapat pada data. Selanjutnya akan dianalisis perbedaan hasil *stack* metode konvensional dan metode CRS.

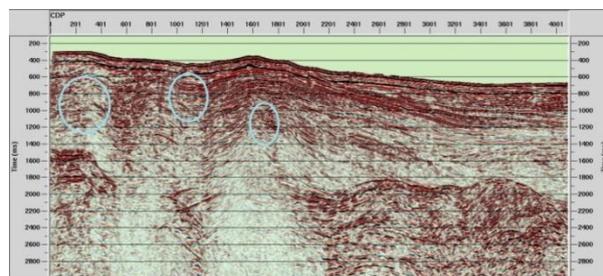
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penampang *stack* metode konvensional dapat dilihat pada gambar 6 sedangkan hasil penampang *stack* metode CRS

ditunjukkan pada gambar 7. Perbedaan kedua metode dapat dilihat pada daerah yang diberi bundaran warna biru.



Gambar 6. Hasil *stack* konvensional



Gambar 7. Hasil CRS *stack*

Hasil penampang *stack* konvensional seperti pada gambar 6 terlihat bahwa terdapat reflektor-reflektor yang tidak menerus pada beberapa bagian. Hal ini disebabkan karena pada metode *stacking* konvensional berdasar pada parameter *traveltime* yang sangat bergantung pada model kecepatan dan *trace-trace* dalam CDP *gather* yang harus dikoreksi NMO terlebih dahulu untuk menghilangkan efek jarak *offset* yang menyebabkan *traveltime* membentuk pola parabolik sehingga tidak mampu mengaproksimasi respon refleksi dengan tepat untuk kasus pada penampang yang kompleks. Dalam hasil *stack* konvensional terlihat terdapat *multiple* yang kuat pada *time* 600ms.

Hasil penampang CRS *Stack* pada gambar 7 terlihat bahwa reflektor mengalami peningkatan *signal to noise ratio*. Hal ini terlihat pada garis-garis reflektor yang menjadi lebih tegas karena dalam CRS *Stack* digunakan CMP *gather* yang lebih banyak daripada *stack* konvensional yang hanya menggunakan beberapa CMP *gather* saja, sehingga menghasilkan penampang yang lebih baik. Dengan menggunakan metode CRS,

kontinuitas horizon terlihat lebih tinggi dibandingkan metode konvensional sehingga menghasilkan *stack* yang lebih optimal. *Multiple* periode panjang pada *time* 600 ms juga sudah tidak terlihat karena sudah dilakukan menggunakan WEMR agar *multiple* dapat hilang. Reflektor yang lebih baik juga ditunjukkan pada target penelitian yaitu pada reflektor yang memiliki kemiringan karena pada metode konvensional belum bisa secara baik menunjukkan kemenerusan pada daerah tersebut. Faktor lain yang mendasari bahwa CRS *Stack* menghasilkan penampang yang lebih jelas dibandingkan *stack* konvensional yaitu adanya operator *stacking* pada CRS *stack*, dimana terdapat parameter *kinematic wavefield* yang menunjukkan informasi mengenai kurvatur, lokasi dan orientasi dari medan gelombang seismik dengan lebih rinci, yaitu dengan menggunakan parameter *angle*, kelengkungan gelombang Normal dan kelengkungan gelombang normal *incident point* (NIP) mengacu pada terminology (Mann dkk, 2002) sehingga dapat memperjelas reflektor di bawah permukaan bumi

Analisis Zona Fresnel

Parameter penting yang terdapat dalam CRS *Stack* yaitu penentuan besar *aperture*. CRS *Stack* menggunakan parameter *dip* dan kecepatan hasil CRS *Precompute* untuk menghasilkan penampang *stack*. Untuk menentukan nilai *aperture* manualnya, diasumsikan perhitungan menggunakan Zona. Zona Fresnel adalah lebar bidang benda anomali yang mampu dilihat/diiluminasi oleh gelombang seismik. Zona Fresnel dapat dihitung secara manual menggunakan persamaan 1.

Selanjutnya adalah diasumsikan perhitungan menggunakan persamaan diatas untuk mendapatkan nilai *apertur* ZO manualnya. Dengan hasil sebagai berikut:

$$Fhf (min) = |Xm - Xo| = \frac{1500}{2} \sqrt{\frac{0,3}{30}}$$

$$= 75 \text{ m}$$

$$F_{hf} (max) = |X_m - X_o| = \frac{4000}{2} \sqrt{\frac{2,3}{20}}$$

$$= 200 \text{ m}$$

Sehingga diperoleh:

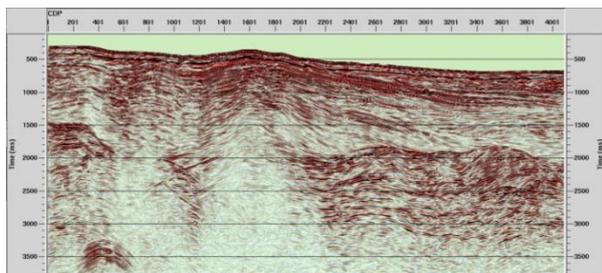
- Zona Fresnel reflektor teratas 75 m
- Zona Fresnel reflektor terbawah 200 m

Analisis Aperture ZO CRS

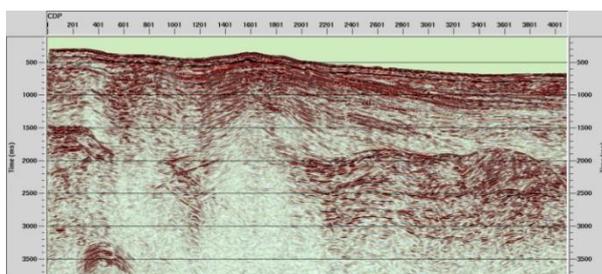
Aperture ZO CRS merupakan besarnya radius data yang akan di stack menjadi *trace* dengan titik reflektor tepat dalam domain CDP. Pada CRS Stack menggunakan data seismik laut ini dilakukan 5 kali proses menggunakan nilai *aperture* yang berbeda-beda untuk mendapatkan hasil yang terbaik.

Tabel 1. Hasil Pemakaian *Aperture* CRS Stack

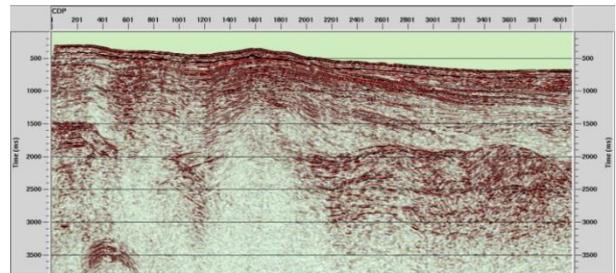
	<i>Aperture</i> (x200m)	CRS <i>Aperture</i> (m)
1	3/4	150
2	1/2	100
3	1/3	67
4	1/6	33
5	1/10	20



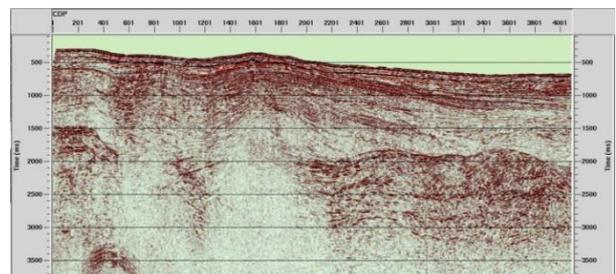
Gambar 8. CRS stack menggunakan nilai *aperture* 150 m untuk *time* 250 ms–3500 ms



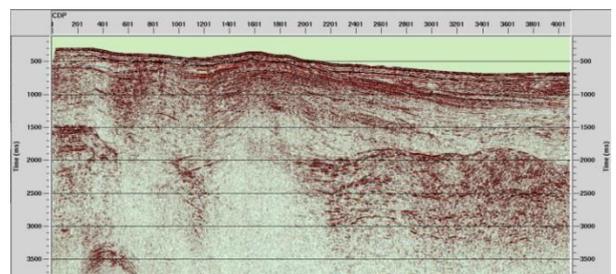
Gambar 9. CRS stack menggunakan nilai *aperture* 100 m untuk *time* 250 ms–3500 ms



Gambar 10. CRS stack menggunakan nilai *aperture* 67 m untuk *time* 250 ms–3500 ms



Gambar 11. CRS stack menggunakan nilai *aperture* 33 m untuk *time* 250 ms–3500 ms

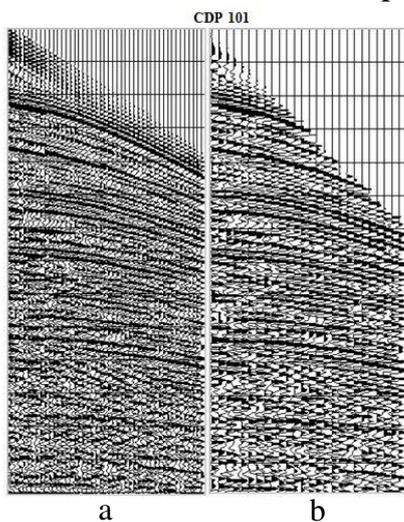


Gambar 12. CRS stack menggunakan nilai *aperture* 20 m untuk *time* 250 ms–3500 ms

Pemilihan *aperture* ZO harus dilakukan dengan tepat agar menghasilkan penampang *stack* yang optimum. Nilai *aperture* ZO terlalu kecil akan menyebabkan nilai *fold* menjadi rendah karena jumlah *trace* yang dianalisis sedikit. Nilai *aperture* ZO pada CRS Stack 250 ms –67 m dan 3500 ms – 67 m menghasilkan kualitas penampang *stack* yang paling optimum karena jumlah *trace* yang *distack* tidak terlalu sedikit dan tidak terlalu banyak. Perbedaan hasil penampang *stack* pada gambar 8-12 dapat disimpulkan bahwa penggunaan jumlah *fold* sangat berpengaruh dalam meningkatkan kualitas *stacking*. Pemilihan *aperture* 250-67 dan 3500-67 menghasilkan *amplitude* reflektor

yang lebih tegas dan merata. Pemilihan *aperture* yang optimal tidak hanya memberikan Zona Fresnel yang optimal, tetapi juga koherensi yang tinggi dan atribut CRS yang sesuai. Metode CRS *Stack* memanfaatkan jumlah *trace* lebih banyak dalam perhitungan sehingga sinyal terhadap *noise* mengalami peningkatan. Peningkatan S/N ini akan mereduksi *noise* yang tidak koheren sedangkan *event* reflektor yang koheren akan semakin meningkat amplitudonya.

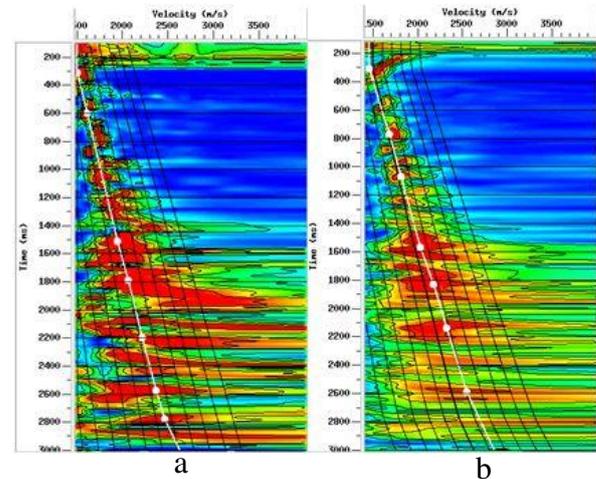
Analisis CMP Gather dan CRS Supergather



Gambar 13. (a) CMP gather pada CDP 101
 (b) CRS Supergather pada CDP 101

Berdasarkan *gather*nya, terlihat bahwa pada metode CRS mengandung lebih banyak *trace* dibandingkan dengan metode konvensional yang umumnya dilakukan. Banyaknya *trace* dalam CRS *Supergather* sangat bergantung pada pemilihan *aperture*, karena *aperture* pada operator CRS *Stack* mengindikasikan seberapa banyak *trace* dari CMP yang berdekatan yang digunakan untuk proses *stacking*. Sesuai teori yang ada bahwa CRS mempunyai jumlah data *gather* yang lebih banyak dibandingkan dengan metode konvensional. Dilihat dari gambar 13 (a) dan (b), jika dibandingkan berdasarkan *gather*-nya, maka CRS lebih baik karena mayoritas *amplitude* yang mirip terkumpul secara jelas. Berbeda dengan CMP *gather* yang lebih acak dan fluktuatif.

Analisis Model Kecepatan Konvensional dan CRS



Gambar 14. (a) *Semblance* CDP 101 Konvensional (b) *Semblance* CDP 101 CRS *Precompute*

Parameter *dip aperture* secara optimal yang telah dipilih secara *trial dan error* digunakan dalam CRS *Precompute*. CRS *Precompute* menggunakan *dip* untuk mengoreksi *semblance* dalam analisa kecepatan untuk mendapatkan kecepatan *stacking* yang tepat pada tiap *event* struktur. Data *gather* yang menjadi input dalam CRS *Precompute* menggunakan kecepatan referensi hasil dari kecepatan NMO *stack* untuk mengaplikasikan CRS *moveout*, karena kecepatan dekat permukaan dan informasi *dip* telah ditentukan sehingga CRS *Precompute* mengoreksi kecepatan terhadap *dip*. Perbandingan *semblance* hasil *Precompute* analisa kecepatan metode konvensional dengan CRS hasil *precompute* dapat dilihat pada Gambar 14. Gambar 14 menunjukkan bahwa *semblance* yang dihasilkan CRS *Precompute* memiliki titik *semblance* yang lebih sedikit dibandingkan dengan *semblance* pada metode konvensional, warna merah menunjukkan nilai *semblance* yang tinggi dan warna biru menunjukkan nilai *semblance* yang rendah.

Dengan memasukan nilai *dip*, CRS

Precompute mengkalkulasikan pemilihan kecepatan yang paling tepat di tiap titik-titik reflektor sehingga mengurangi ambiguitas dalam pemilihan kecepatan. Dimana nantinya model kecepatan yang dihasilkan dalam CRS *Precompute* tersebut digunakan sebagai input dalam CRS *Stack*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang diperoleh antara lain:

1. Metode CRS telah berhasil diaplikasikan pada data seismik laut 2D dengan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional, dibuktikan dengan hasil *stack* pada metode CRS mampu memperlihatkan reflektor yang lebih menerus serta meningkatkan *signal to noise ratio* secara kualitatif.
2. CRS *stack* paling optimal menggunakan nilai aperture 67 m untuk *time* 250 ms– 3500 ms pada data seismik laut wilayah perairan “Y”

SARAN

Saran yang sebaiknya dilakukan untuk penelitian selanjutnya berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pencarian *aperture* ZO search pada perangkat lunak ProMAX belum dapat dilakukan dengan optimal, karena *user* hanya dapat memasukkan satu nilai *aperture* untuk seluruh data sehingga perlu dikombinasikan dengan perangkat lunak yang lain untuk pencarian *aperture* ZO search pada bagian setiap lapisan.
2. Sebelum mengaplikasikan metode CRS, sebaiknya data sudah benar-benar bersih dari *noise* agar mempermudah dalam menganalisis hasil *stack*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Biloti, R., Santos, L., and Tygel, M., 2002. Multiparametric traveltimes

inversion, *Studia Geophysica et Geodetica* 46, 177–192.

- [2]. Birgin, E., Biloti, R., Tygel, M., and Santos, L., 1999, Restricted optimization: a clue to a fast and accurate implementation of the Common Reflection Surface Stack method, *Journal of Applied Geophysics* 42, 143–155.
- [3]. Firliyadi, A., 2006, Atenuasi multiple dengan menggunakan metode Filtering Radon pada Common Reflection Surface (CRS) supergather, *Skripsi*, Jurusan Fisika FMIPA UI, Depok.
- [4]. Jäger, R., 1999, The Common Reflection Surface Stack - theory and application, *Master's University thesis*, Karlsruhe, German.
- [5]. Mann, J., Bergler, S., Zhang, Y., Chira, P., and Hubral, P., 2002, Generalizations of the Common-Reflection-Surface stack, *Geophysical Institute*, University of Karlsruhe, Hertzstr, Germany.
- [6]. Mann, J., 2007, CRS Stacking-A simplified explanation, *EAGE 69th Conference & Technical Exhibition*-London, UK.
- [7]. Oliva, P., Cruz, R., Garabito, G., Hubral, P., and Tygel, M., 2005. 2-D ZO CRS stack by considering an acquisition line with smooth topography, *Brazilian Journal of Geophysics* 23, 15-25.
- [8]. Taufiqurrahman, 2009, Pengolahan data seismik menggunakan metode zero offset– Common Reflection Surface Stack, *Skripsi*, Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan ITB, Bandung.