

TUGAS 3 TEORI DAN APLIKASI FOTONIK

Nama : Muhammad Ya'mal Amilun

NIM : 10222070

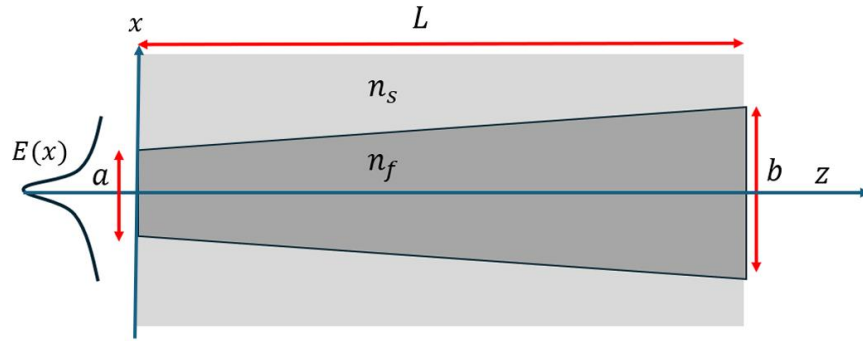
Pada tugas sebelumnya telah dibahas bagaimana suatu gelombang elektromagnetik merambat melewati medium dengan indeks bias berbeda-beda (seperti kue lapis). Pada kasus sebelumnya, kita hanya fokus terhadap sudut masuk paling efektif sebagai gelombang padu dan tidak memperhatikan profile fasa gelombang masuknya (fungsi profilnya dapat dianggap seperti fungsi delta dirac, nilainya berada di satu titik lainnya nol). Sebaliknya, sekarang kita tidak akan fokus terhadap sudut masuknya dan fokus terhadap perubahan profil medan elektromagnetiknya. Secara umum kita hanya perlu melakukan transformasi Fourier terhadap profil gelombangnya dan membiarkan setiap gelombang-gelombangnya merambat melalui suatu medium. Apabila kita ingin mengetahui profil medan ketika z tertentu, maka kita hanya perlu melakukan invers transformasi Fourier dari seluruh gelombang-gelombang di z tersebut. Perlu diperhatikan, transformasi Fourier dilakukan terhadap k_x dan bukan terhadap *frekuensi*. Hal tersebut berarti, kita menggunakan gelombang-gelombang tertentu dengan arah rambat berbeda-beda untuk menyusun profil medan kita. Karena nilai k konstan dan k_x tiap gelombang berbeda, maka kecepatan rambat tiap gelombang akan berbeda-beda dan menyusun profil gelombang berubah-ubah terhadap suatu sumbu (tentu apabila transformasi terhadap f tidak akan merubah profilnya sama sekali). Apakah hal tersebut boleh dilakukan? Tentu selama sesuai dengan fakta eksperimen (fakta menyatakan, gelombang EM biasanya tersusun dari k_x berbeda-beda). Selanjutnya untuk kasus perambatan gelombang di dalam medium dengan indeks bias berbeda-beda, kita hanya perlu mengalikan hasil profilnya dengan koreksi karena indeks bias. Penurunan transformasi dan koreksi untuk kasus numeriknya sendiri tidak akan dibahas di sini.

❖ Metode Split-Step FFT BBM

Pada metode kali ini, kita membagi perhitungan $\psi(z + \Delta z)$ menjadi dua tahap, yaitu menghitung fungsi ψ hasil koreksi difraksi pada ruang hampa dan mengalikannya dengan faktor koreksi akibat indeks bias $n(x, z)$. Formula untuk masing-masing koreksi diberikan sebagai berikut.

$$\psi(z + \Delta z) = IFT[g(k_x, z) \exp\left\{-\frac{ik_x^2}{2n_0k_0}\Delta z\right\}], \quad \text{koreksi difraksi}$$
$$\psi(x, z + \Delta z) = \psi(x, z) \exp\left\{\frac{i(n^2 - n_0^2)\Delta z}{2n_0}\right\}$$

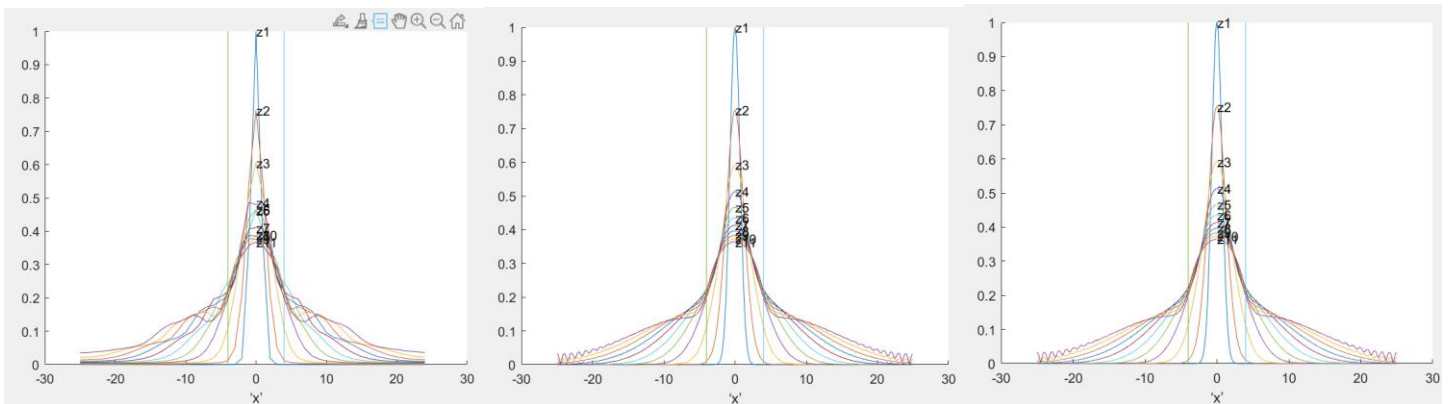
Pada kasus kali ini, batasan-batasan dan nilai mediumnya dijelaskan pada gambar di bawah:



Dengan parameter sebagai berikut:

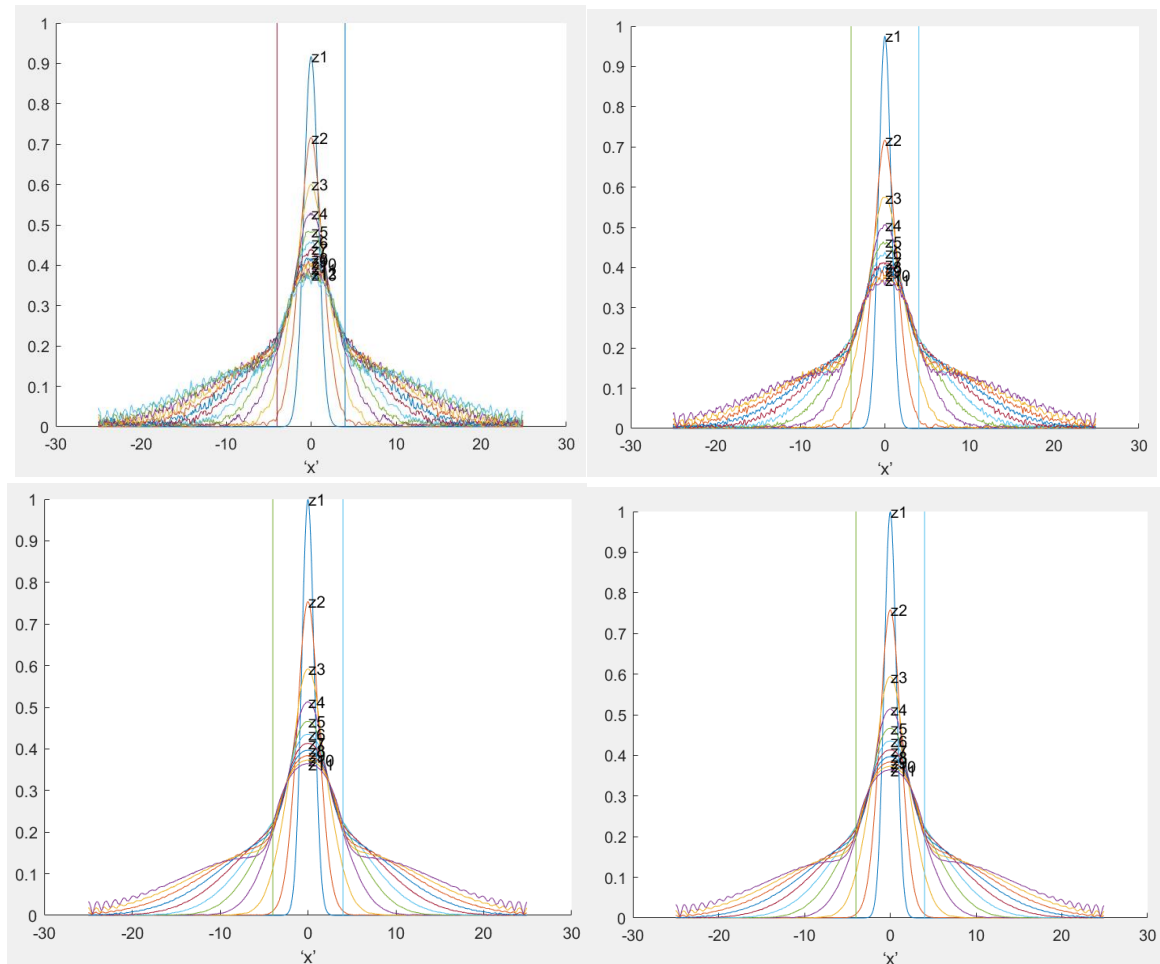
```
% Parameter
wavelength = 1.5; % Panjang gelombang
k0 = 2 * pi / wavelength; % Nomor gelombang vakum
n0 = 1.49; % Indeks bias referensi
z_max = 50; % Nilai maks dari z
a = 1; % Nilai tebal core awal
b = 8; % Nilai tebal core akhir
```

Untuk profil medan awal sendiri digunakan fungsi berikut $\psi(x) = e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^2}$. Sisa kodenya sendiri adalah definisi-definisi lainnya, looping dari BPM, dan plot yang akan diberikan pada lampiran kode terpisah. Niali dx , dz , dan lebar fungsi profil akan menjadi variabel yang diatur untuk mendapatkan hasil paling optimum. Pertama, kita tentukan terlebih dahulu pengaruh dx terhadap hasil grafik profil, berikut grafik ketika $dx = 1, 0.1, \text{ dan } 0.01$ dengan $dz = 1$

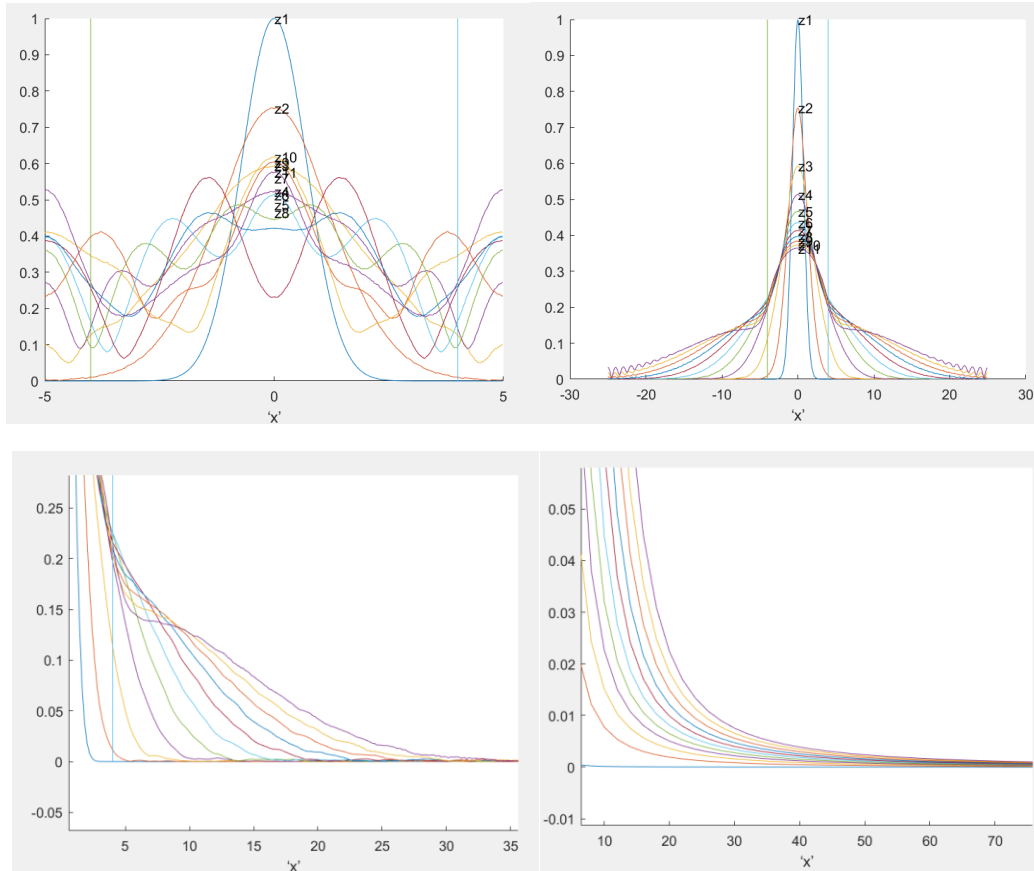


Dapat kita lihat pada grafik-grafik di atas nilai dx lebih menentukan seberapa ‘mulus’ bentuk grafik. Ketika dx terlalu besar, maka grafik terlihat memiliki turunan pertama diskrit yang tidak kontinue. Sedangkan untuk dx kecil, grafik akan terlihat lebih mulus dengan fungsi dan turunannya terlihat kontinue. Perhatikan juga hasil grafik dari $dx = 0.1 \text{ dan } dx = 0.01$ terlihat tidak memiliki perbedaan signifikan (terlihat sama persis). Oleh karena itu, dapat kita simpulkan pemilihan dx cukup cari nilai dx ketika hasil fungsi grafiknya tidak lagi berubah secara signifikan. Pemilihan dx terlalu besar akan membuat fungsinya tidak mulus tapi pemilihan dx terlalu kecil juga dapat membuat program berjalan lebih lama (padahal hasil grafiknya tidak

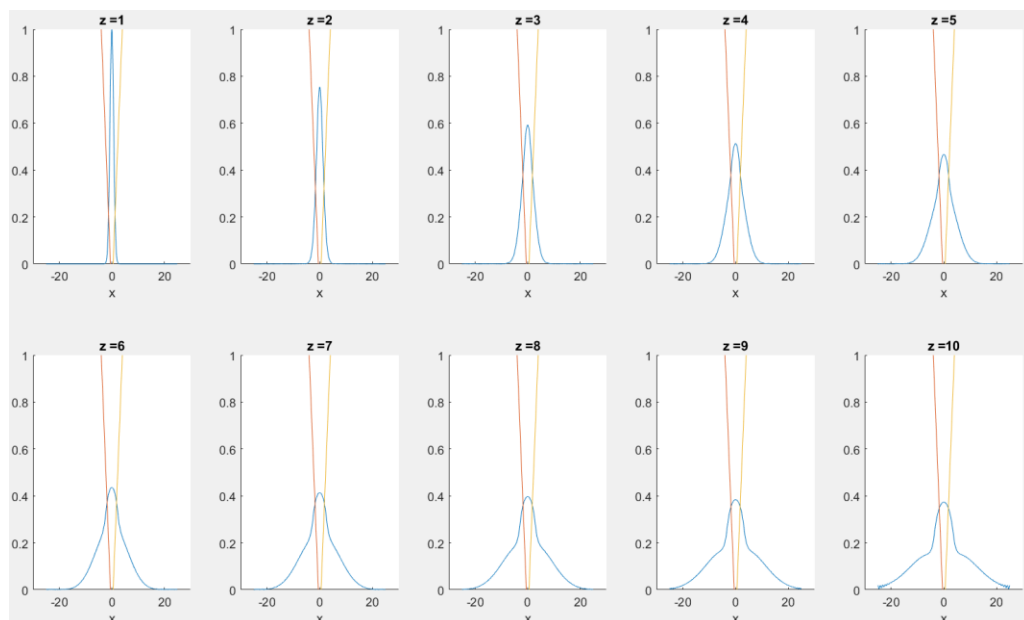
berbeda jauh dengan dx lebih besar). Kemudian, kita lihat pengaruh diskritisasi z atau nilai dz terhadap hasil profil dengan $dz = 2, 1, 0.1, \text{ dan } 0.01$ ketika $dx = 0.1$ sebagai berikut.



Dapat kita lihat pada grafik-grafik di atas, hasilnya kurang lebih sama dengan dx . Ketika nilai dz terlalu besar maka noises hasil transformasi fourier akan semakin besar dan ketika nilai dz kecil maka noisesnya akan berkurang. Namun, pada suatu nilai dz , noises tersebut akan berhenti berkurang tidak peduli sekecil apapun nilai dz nya. Sehingga, dapat kita simpulkan sama seperti dx kita harus memilih nilai dz sehingga grafiknya tidak berubah ketika kita kecilkan kembail dz nya. Nilai dz tidak boleh terlalu besar untuk mengurangi noises dan tidak boleh terlalu kecil untuk meningkatkan performa. Noises tersebut sendiri disebabkan oleh fungsi FFT dalam program membuat fungsi profil medannya menjadi terhubung antara bagian paling kiri dan paling kanan. Hal tersebut dilakukan karena hasil transformasi fourier merupakan fungsi dengan domain tak hingga. Untuk menghilangkan noises tersebut terdapat banyak cara, salah satu cara paling sederhana adalah dengan memanjangkan domain dari fungsinya agar noisesnya tidak terlalu berdampak. Berikut adalah perbandingan dari lebar hasil profil terhadap hasil grafiknya dengan nilai $lebar = 10, 50, 100, 1000$ ketika $dz = 0.1$ dan $N_x = 500$ (total gridnya)

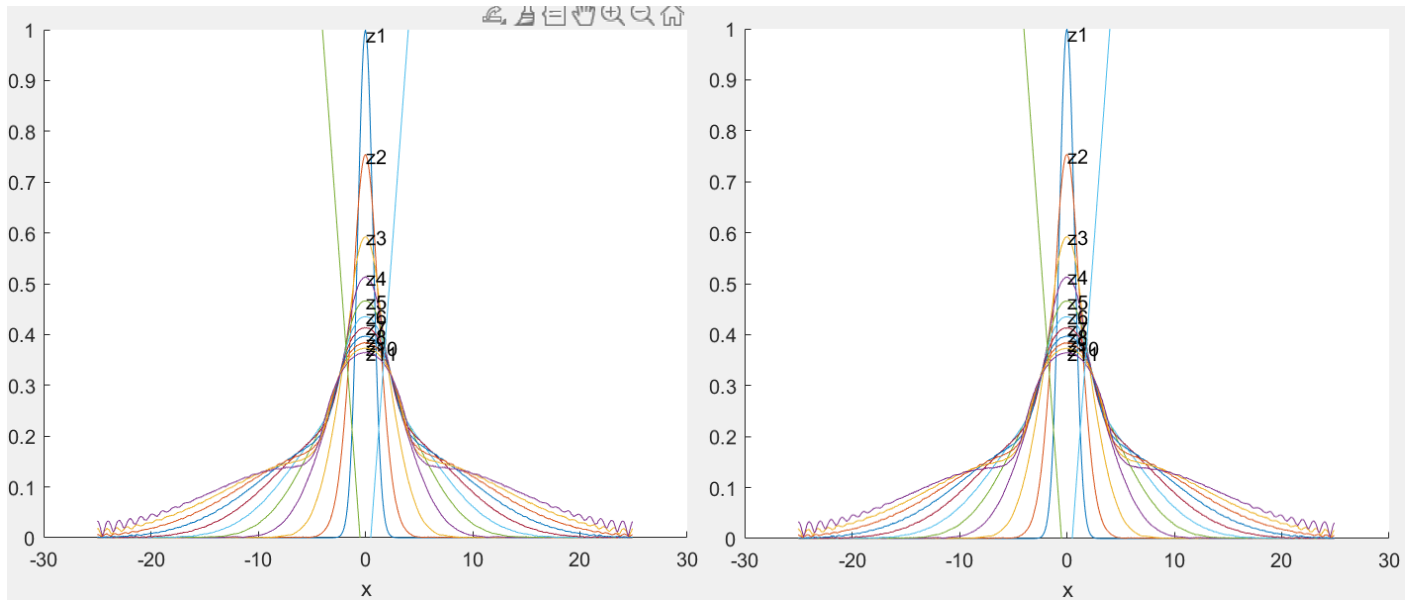


Dapat kita lihat ketika lebarnya bernilai 10, noisesnya sangat besar dan hampir menutupi fungsi sebenarnya secara sempurna. Sebaliknya ketika kita naikan lebarnya maka noisesnya akan semakin berkurang, dapat dilihat ketika lebarnya bernilai 1000 grafiknya terlihat sangat mulus tanpa noises. Selanjutnya akan diplot hasilnya ketika $dx = 0.1, dz = 0.1$, dan lebar = 50 untuk setiap $\frac{z_{max}}{10} i$

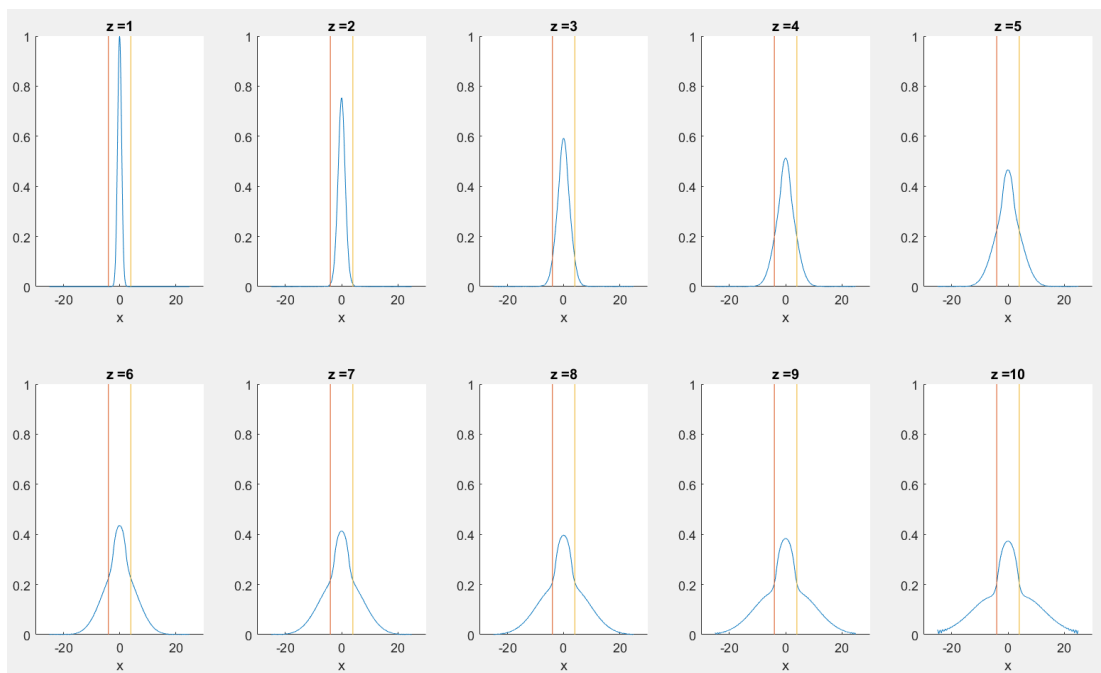


❖ Metode Symmetric Split-Step FFT BBM

Metode ini mirip dengan metode Split-Step, hanya perbedaan prosedur saja. Dalam metode Ini, kita inverse transformasi fouriernya ketika $\frac{dz}{2}$, lalu kalikan dengan faktor koreksi indeks bias, lalu dapatkan kembali fungsinya setelah maju sebesar $\frac{dz}{2}$. Berikut grafik perbandingan antara metode Split-Step dengan metode Symmetric Split-Step ketika $dx = 0.1, dz = 0.1$, dan lebar = 50



Terlihat tidak ada perbedaan jelas antara kedua metode. Selanjutnya, berikut hasil plot grafik dengan metode SSS ketika $dx = 0.1, dz = 0.1$, dan lebar = 50 untuk setiap $\frac{z_{max}}{10} i, (i = 0, 1, \dots)$

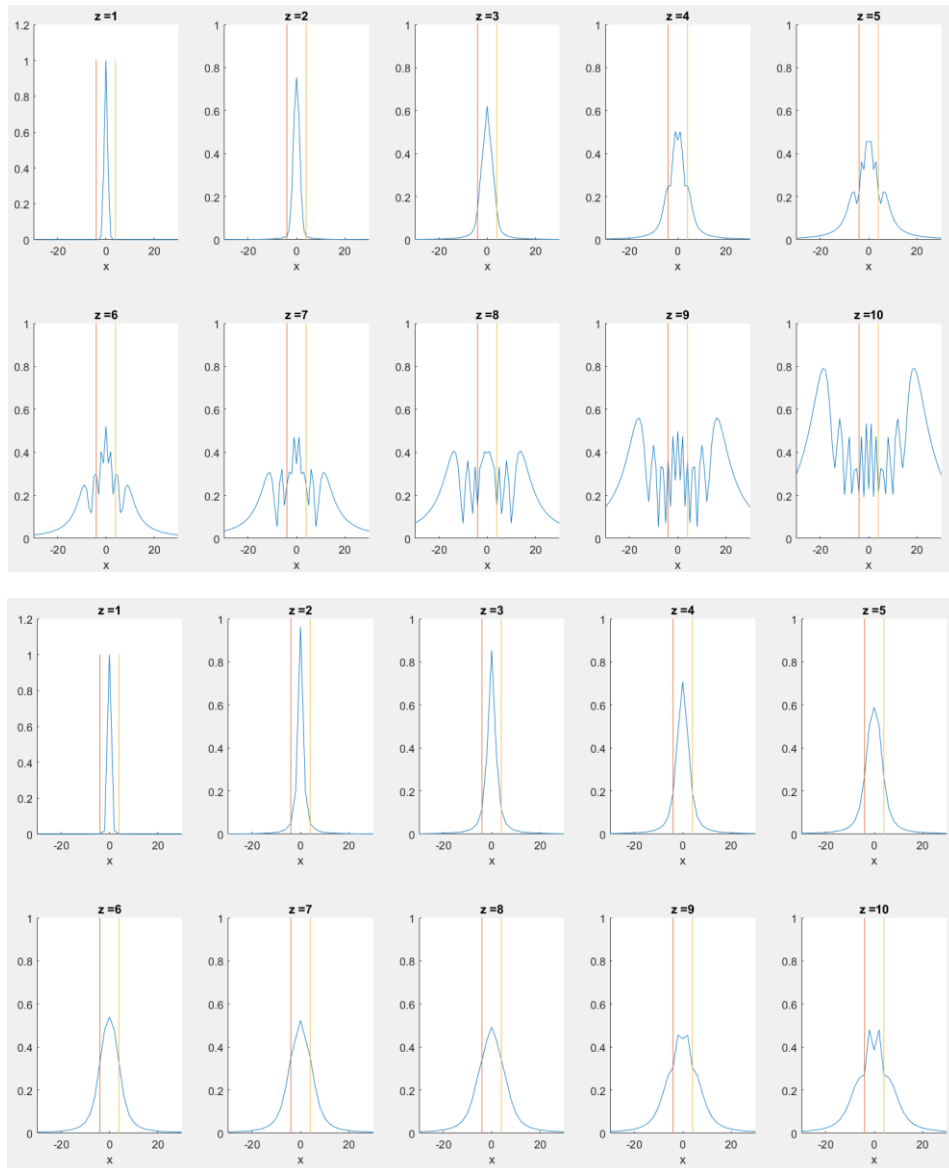


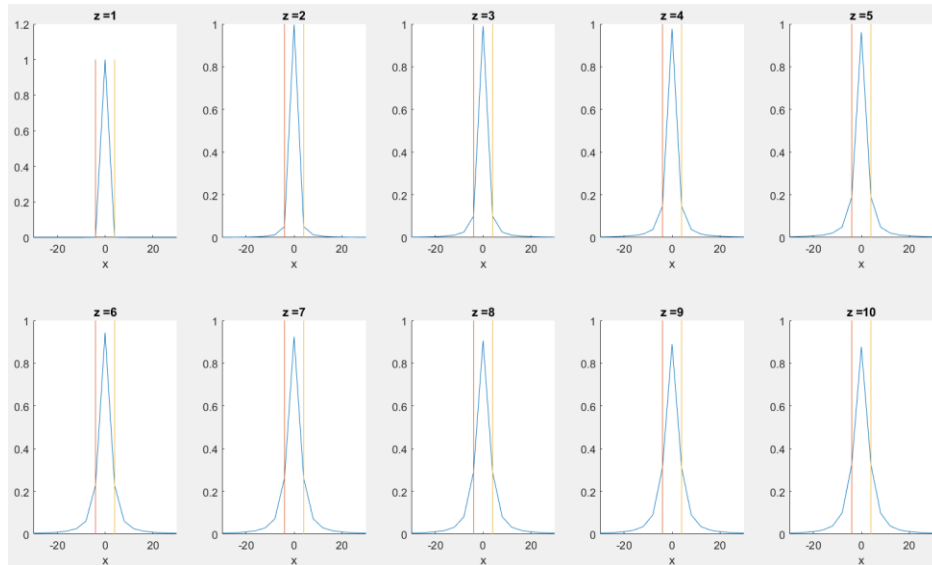
❖ Metode Symmetric Split-Step FFT BBM Untuk Sudut Besar

Pada metode-metode sebelumnya, formula koreksi untuk difraksi diturunkan dengan asumsi $k_x \ll k$ sehingga $k_z \approx nk_0 - \frac{k_x^2}{2nk_0}$. Untuk sudut besar, menggunakan metode Pade Approximant dan deret Taylor hingga orde-2 kita bisa dapatkan formula barunya sebagai berikut.

$$\psi(z + \Delta z) = IFT[g(k_x, z) \exp \left\{ \left(-\frac{ik_x^2}{2n_0k_0} + \frac{1}{4} \frac{k_x^4}{k_0^3 n^3} \right) \Delta z \right\}]$$

Dengan menambah suku baru tersebut didapatkan hasil profilnya ketika $dz = 0.1, Nx = 500$, dan lebar = 500, 1000, dan 2000 sebagai berikut.





Dapat kita lihat ketika kita gunakan fungsi baru untuk sudut besar, ketika lebarnya kecil maka hasilnya akan jadi sangat tidak stabil. Ketika lebar 1000 dan 2000, terlihat hasilnya sendiri sudah sangat stabil walau terdapat perbedaan besar dari bentuk grafik antara keduanya. Selanjutnya, dari kedua grafik tersebut manakah grafik yang lebih baik? Sebelumnya, untuk kasus ini kita gunakan formula hasil dari aproksimasi sudut antara k_x dan k_z besar. Formula tersebut tidak serta-merta menjadikannya ideal untuk kedua kasus sudut besar dan kecil. Tidak menutup kemungkinan penggunaan formula tersebut malah membuat hasil plotnya jauh dari yang sebenarnya untuk sudut kecil. Sehingga idealnya kita mengetahui, apakah gelombang EM yang kita gunakan tersusun dari gelombang-gelombang dengan k_x kecil atau besar atau malah keduanya. Selanjutnya bagaimana cara menentukan kategori k_x untuk gelombang-gelombang penyusun gelombang utamanya? Saya sendiri kurang tahu. Mungkin apabila boleh menebak, ketika suatu gelombang tersusun dari gelombang-gelombang dengan sudut antara k_x dan k_z besar, maka nomor gelombang dengan arah tegak lurus arah rambat akan jadi lebih besar sehingga intensitas dari gelombang ke arah tersebut akan lebih besar. Sederhananya, kita dapat menaruh instrumen untuk mendeteksi intensitas gelombang di sekitar arah rambat. Ketika intensitasnya besar maka nilai sudutnya besar dan ketika intensitasnya rendah nilai sudutnya menjadi kecil. Tentu hal tersebut hanyalah tebakan, saya tidak yakin ‘tersusun’ di sini berarti secara fisis benar-benar tersusun oleh gelombang-gelombang tersebut atau hanya fenomena yang terjadi ketika difraksi/ kondisi lainnya atau makna lainnya.

❖ Bonus: Hasil Plot Surface Untuk Setiap Metode

Hasil Surface plot di bawah dilakukan dengan ketentuan $dz = 0.1$, $dx = 0.1$, dan lebar = 50 untuk metode dengan aproksimasi sudut k_x kecil dan untuk sudut besar ketentuannya $dz = 0.1$, $N_x = 500$, dan lebar = 1000. Berikut hasil surface plotnya dengan urutan metode Split-Step, Symmetry Split-Step, dan Wide Angle Symmetry Split-Step.

