Palm Oil Fruit/RGB:

**empty bunch**: After the fruitlets have detached, the bunch appears barren, consisting mainly of the central stalk and spikelet.

A person holding a plant

Description automatically generated

**overripe:** The bunch is fully red/orange, with some fruits starting to detach.

A pile of corn seeds

Description automatically generated

**ripe:** More than 50% of the fruits have changed to a deep red/orange color

A pile of fruit on the ground

Description automatically generated

**rotten:** The bunch shows signs of decay, such as mold growth, blackened or mushy fruitlets, and an unpleasant odor, rendering it unsuitable for oil extraction.

**underripe:** Some fruits start to turn orange/red, but the majority remain green

A round object with black berries

Description automatically generated

**unripe:** the fruit bunch is green with no visible color change

A pile of black berries

Description automatically generated

A close up of a plant

Description automatically generated

A collage of different colors of palm seeds

Description automatically generated

A collage of fruit

Description automatically generatedA group of fruit with text

Description automatically generated with medium confidence

A collage of several sea urchins

Description automatically generated

A collage of palm trees

Description automatically generated

A collage of fruit

Description automatically generated

A screenshot of a computer

Description automatically generated A screenshot of a computer

Description automatically generated

A screenshot of a graph

Description automatically generated

$env:CUDA\_LAUNCH\_BLOCKING=1; python -m Training.Train\_RGB

Summary/FusionModel\RGB\_Weights created successfully.

Summary/FusionModel\RGB\_Logs created successfully.

✅ Using 8 dataloader workers.

✅ Training on 3024 images, Validating on 3024 images.

🔥 Epoch 1/50: 100%|██████████████████| 378/378 [06:51<00:00, 1.09s/it, loss=0.3743]

✅ Epoch 1: Train Loss: 1.7845, Train Acc: 0.2692, Val Loss: 1.2937, Val Acc: 0.4547

🔥 Epoch 2/50: 100%|█████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [06:59<00:00, 1.11s/it, loss=0.1540]

✅ Epoch 2: Train Loss: 1.6337, Train Acc: 0.3641, Val Loss: 1.3409, Val Acc: 0.4097

🔥 Epoch 3/50: 100%|█████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:30<00:00, 1.19s/it, loss=0.3122]

✅ Epoch 3: Train Loss: 1.6006, Train Acc: 0.3515, Val Loss: 1.5332, Val Acc: 0.2880

🔥 Epoch 4/50: 100%|█████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:25<00:00, 1.34s/it, loss=0.2936]

✅ Epoch 4: Train Loss: 1.5388, Train Acc: 0.3621, Val Loss: 1.2122, Val Acc: 0.4540

🔥 Epoch 5/50: 100%|█████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:12<00:00, 1.30s/it, loss=0.6046]

✅ Epoch 5: Train Loss: 1.4746, Train Acc: 0.3796, Val Loss: 1.2214, Val Acc: 0.4600

🔥 Epoch 6/50: 100%|█████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:08<00:00, 1.29s/it, loss=0.3234]

✅ Epoch 6: Train Loss: 1.4586, Train Acc: 0.3998, Val Loss: 1.2898, Val Acc: 0.4587

🔥 Epoch 7/50: 100%|█████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:09<00:00, 1.29s/it, loss=0.2066]

✅ Epoch 7: Train Loss: 1.4173, Train Acc: 0.4289, Val Loss: 1.1308, Val Acc: 0.5060

🔥 Epoch 8/50: 100%|█████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:12<00:00, 1.30s/it, loss=0.2526]

✅ Epoch 8: Train Loss: 1.4299, Train Acc: 0.4368, Val Loss: 1.1742, Val Acc: 0.4815

🔥 Epoch 9/50: 100%|█████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:13<00:00, 1.31s/it, loss=0.4985]

✅ Epoch 9: Train Loss: 1.3542, Train Acc: 0.4425, Val Loss: 1.2681, Val Acc: 0.4620

🔥 Epoch 10/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:11<00:00, 1.30s/it, loss=0.2325]

✅ Epoch 10: Train Loss: 1.3046, Train Acc: 0.4745, Val Loss: 1.1100, Val Acc: 0.5010

🔥 Epoch 11/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:16<00:00, 1.31s/it, loss=0.3362]

✅ Epoch 11: Train Loss: 1.2721, Train Acc: 0.4656, Val Loss: 1.1189, Val Acc: 0.5023

🔥 Epoch 12/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:11<00:00, 1.30s/it, loss=0.2205]

✅ Epoch 12: Train Loss: 1.1893, Train Acc: 0.5030, Val Loss: 1.0434, Val Acc: 0.5473

🔥 Epoch 13/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:10<00:00, 1.30s/it, loss=0.3591]

✅ Epoch 13: Train Loss: 1.1939, Train Acc: 0.5149, Val Loss: 1.0838, Val Acc: 0.5331

🔥 Epoch 14/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:11<00:00, 1.30s/it, loss=0.1473]

✅ Epoch 14: Train Loss: 1.3042, Train Acc: 0.5139, Val Loss: 0.9852, Val Acc: 0.5575

🔥 Epoch 15/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:11<00:00, 1.30s/it, loss=0.1182]

✅ Epoch 15: Train Loss: 1.2110, Train Acc: 0.5437, Val Loss: 1.0688, Val Acc: 0.5284

🔥 Epoch 16/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:08<00:00, 1.29s/it, loss=0.2116]

✅ Epoch 16: Train Loss: 1.1635, Train Acc: 0.5327, Val Loss: 0.9570, Val Acc: 0.5546

🔥 Epoch 17/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:10<00:00, 1.30s/it, loss=0.3895]

✅ Epoch 17: Train Loss: 1.0759, Train Acc: 0.5460, Val Loss: 0.9793, Val Acc: 0.5655

🔥 Epoch 18/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:10<00:00, 1.30s/it, loss=0.2993]

✅ Epoch 18: Train Loss: 1.0757, Train Acc: 0.5651, Val Loss: 1.0735, Val Acc: 0.5119

🔥 Epoch 19/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:12<00:00, 1.30s/it, loss=0.2750]

✅ Epoch 19: Train Loss: 1.0594, Train Acc: 0.5794, Val Loss: 0.9908, Val Acc: 0.5681

🔥 Epoch 20/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:09<00:00, 1.29s/it, loss=0.4062]

✅ Epoch 20: Train Loss: 1.0503, Train Acc: 0.5734, Val Loss: 0.8131, Val Acc: 0.6346

🔥 Epoch 21/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:08<00:00, 1.29s/it, loss=0.5895]

✅ Epoch 21: Train Loss: 1.0836, Train Acc: 0.5605, Val Loss: 1.0659, Val Acc: 0.5271

🔥 Epoch 22/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [08:05<00:00, 1.28s/it, loss=0.2150]

✅ Epoch 22: Train Loss: 1.0398, Train Acc: 0.5665, Val Loss: 0.8724, Val Acc: 0.6101

🔥 Epoch 23/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:57<00:00, 1.26s/it, loss=0.1970]

✅ Epoch 23: Train Loss: 1.0873, Train Acc: 0.5599, Val Loss: 0.8926, Val Acc: 0.5790

🔥 Epoch 24/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:57<00:00, 1.26s/it, loss=0.1362]

✅ Epoch 24: Train Loss: 0.9956, Train Acc: 0.5843, Val Loss: 0.9772, Val Acc: 0.5774

🔥 Epoch 25/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:56<00:00, 1.26s/it, loss=0.4995]

✅ Epoch 25: Train Loss: 0.9536, Train Acc: 0.6134, Val Loss: 0.8434, Val Acc: 0.6267

🔥 Epoch 26/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:56<00:00, 1.26s/it, loss=0.0648]

✅ Epoch 26: Train Loss: 0.9021, Train Acc: 0.6161, Val Loss: 0.8478, Val Acc: 0.6283

🔥 Epoch 27/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:57<00:00, 1.26s/it, loss=0.1333]

✅ Epoch 27: Train Loss: 0.9202, Train Acc: 0.6353, Val Loss: 0.8841, Val Acc: 0.6154

🔥 Epoch 28/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:57<00:00, 1.26s/it, loss=0.1145]

✅ Epoch 28: Train Loss: 0.8144, Train Acc: 0.6283, Val Loss: 0.7862, Val Acc: 0.6541

🔥 Epoch 29/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:57<00:00, 1.26s/it, loss=0.3689]

✅ Epoch 29: Train Loss: 0.8006, Train Acc: 0.6465, Val Loss: 0.7732, Val Acc: 0.6505

🔥 Epoch 30/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:56<00:00, 1.26s/it, loss=0.0942]

✅ Epoch 30: Train Loss: 0.7614, Train Acc: 0.6488, Val Loss: 0.7320, Val Acc: 0.6743

🔥 Epoch 31/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:56<00:00, 1.26s/it, loss=0.2069]

✅ Epoch 31: Train Loss: 0.7271, Train Acc: 0.6696, Val Loss: 0.8380, Val Acc: 0.6319

🔥 Epoch 32/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:56<00:00, 1.26s/it, loss=0.2204]

✅ Epoch 32: Train Loss: 0.7850, Train Acc: 0.6558, Val Loss: 0.6989, Val Acc: 0.6849

🔥 Epoch 33/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:57<00:00, 1.26s/it, loss=0.1815]

✅ Epoch 33: Train Loss: 0.6940, Train Acc: 0.6776, Val Loss: 0.6739, Val Acc: 0.6875

🔥 Epoch 34/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:56<00:00, 1.26s/it, loss=0.1369]

✅ Epoch 34: Train Loss: 0.7047, Train Acc: 0.6809, Val Loss: 0.7238, Val Acc: 0.6845

🔥 Epoch 35/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:57<00:00, 1.26s/it, loss=0.1156]

✅ Epoch 35: Train Loss: 0.6571, Train Acc: 0.7040, Val Loss: 0.6158, Val Acc: 0.7381

🔥 Epoch 36/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:57<00:00, 1.26s/it, loss=0.0921]

✅ Epoch 36: Train Loss: 0.6474, Train Acc: 0.7001, Val Loss: 0.5935, Val Acc: 0.7358

🔥 Epoch 37/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:56<00:00, 1.26s/it, loss=0.8275]

✅ Epoch 37: Train Loss: 0.6259, Train Acc: 0.7173, Val Loss: 0.6095, Val Acc: 0.7318

🔥 Epoch 38/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:58<00:00, 1.27s/it, loss=0.1087]

✅ Epoch 38: Train Loss: 0.5640, Train Acc: 0.7252, Val Loss: 0.5667, Val Acc: 0.7487

🔥 Epoch 39/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:59<00:00, 1.27s/it, loss=0.1501]

✅ Epoch 39: Train Loss: 0.5706, Train Acc: 0.7321, Val Loss: 0.6328, Val Acc: 0.7269

🔥 Epoch 40/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:57<00:00, 1.26s/it, loss=0.1008]

✅ Epoch 40: Train Loss: 0.5488, Train Acc: 0.7259, Val Loss: 0.5927, Val Acc: 0.7216

🔥 Epoch 41/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:57<00:00, 1.26s/it, loss=0.1296]

✅ Epoch 41: Train Loss: 0.5445, Train Acc: 0.7431, Val Loss: 0.5698, Val Acc: 0.7566

🔥 Epoch 42/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:57<00:00, 1.26s/it, loss=0.0535]

✅ Epoch 42: Train Loss: 0.5041, Train Acc: 0.7440, Val Loss: 0.5434, Val Acc: 0.7553

🔥 Epoch 43/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:55<00:00, 1.26s/it, loss=0.1536]

✅ Epoch 43: Train Loss: 0.4809, Train Acc: 0.7556, Val Loss: 0.5331, Val Acc: 0.7593

🔥 Epoch 44/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:54<00:00, 1.26s/it, loss=0.0358]

✅ Epoch 44: Train Loss: 0.5145, Train Acc: 0.7483, Val Loss: 0.5302, Val Acc: 0.7609

🔥 Epoch 45/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:54<00:00, 1.26s/it, loss=0.1249]

✅ Epoch 45: Train Loss: 0.5149, Train Acc: 0.7626, Val Loss: 0.5171, Val Acc: 0.7688

🔥 Epoch 46/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:54<00:00, 1.26s/it, loss=0.2142]

✅ Epoch 46: Train Loss: 0.4864, Train Acc: 0.7636, Val Loss: 0.5423, Val Acc: 0.7517

🔥 Epoch 47/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:54<00:00, 1.25s/it, loss=0.0609]

✅ Epoch 47: Train Loss: 0.4691, Train Acc: 0.7679, Val Loss: 0.5091, Val Acc: 0.7715

🔥 Epoch 48/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:53<00:00, 1.25s/it, loss=0.0399]

✅ Epoch 48: Train Loss: 0.4449, Train Acc: 0.7715, Val Loss: 0.5112, Val Acc: 0.7735

🔥 Epoch 49/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:54<00:00, 1.26s/it, loss=0.0731]

✅ Epoch 49: Train Loss: 0.4508, Train Acc: 0.7755, Val Loss: 0.5099, Val Acc: 0.7738

🔥 Epoch 50/50: 100%|████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 378/378 [07:53<00:00, 1.25s/it, loss=0.0403]

✅ Epoch 50: Train Loss: 0.4490, Train Acc: 0.7688, Val Loss: 0.5092, Val Acc: 0.7738

✅ Training complete. Best Validation Accuracy: 0.7738

A black and white table with white text

Description automatically generated

**🚀 Key Observations**

**✅ Good Performance**

* **"Empty Bunch"** is classified well (**211 correct predictions**).
* **"Overripe"** has **368 correct predictions**, with minor confusion.
* **"Ripe"** has **732 correct predictions**, meaning it's mostly accurate.

**⚠️ Areas for Improvement**

* **"Ripe" is confused with "Underripe"**:
  + **359 images misclassified** as "Underripe."
  + This suggests that the features of ripe and underripe bunches might be similar.
* **"Underripe" is confused with "Ripe"**:
  + **140 images** of underripe predicted as ripe.
* **Some confusion between rotten and empty bunches.**

**💡 Possible Cause:**

* **Color similarities** between "ripe" and "underripe" bunches.
* **Lighting variations** in training images.

**📌 3. Next Steps for Model Improvement**

To further **boost accuracy**, consider these improvements:

**✅ Step 1: Increase Training Data**

* Add more images, especially for classes **with frequent misclassifications** (e.g., "ripe" vs. "underripe").
* Use **data augmentation**:
  + Random **brightness adjustment**.
  + **Gaussian noise** to simulate real-world conditions.

**✅ Step 2: Fine-tune the Model**

* **Increase training epochs** beyond 50.
* Implement **learning rate decay** for better convergence.
* Try **different optimizers** like **AdamW** or **SGD with momentum**.

**✅ Step 3: Class Weight Adjustment**

* Since **some classes are harder to classify**, apply **class weighting**:

A screenshot of a computer program

Description automatically generated

**✅ Step 4: Real-time Testing & Deployment**

* Convert the **model to ONNX** for **real-time inference** (which you are already doing).
* Deploy the model to **Edge Devices like Raspberry Pi** to see real-world performance.
* **🚀 Final Verdict**
* Your model is **performing well (77.38% accuracy),** but **improvements in classifying "ripe" and "underripe" are needed**.  
  Would you like to implement **fine-tuning, more data augmentation, or hyperparameter tuning?** 🚀🔥

A black and white chart with white text

Description automatically generated

A black and white chart with white text

Description automatically generated

C:\Users\owono\Pictures\AI\_Model\_Palm\_Oil\_Fruit> python -m Training.Train\_RGB Summary/FusionModel\RGB\_Weights created successfully. Summary/FusionModel\RGB\_Logs created successfully. ✅ Using 8 dataloader workers. ✅ Training on 5000 images, Validating on 5000 images. 🔥 Epoch 1/100: 100%|█████████████████████████████████████| 625/625 [12:13<00:00, 1.17s/it, loss=0.2213] ✅ Epoch 1: Train Loss: 1.3510, Train Acc: 0.4290, Val Loss: 1.1037, Val Acc: 0.5026 🔥 Epoch 2/100: 100%|███████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [11:59<00:00, 1.15s/it, loss=0.3302] ✅ Epoch 2: Train Loss: 1.0962, Train Acc: 0.5296, Val Loss: 1.0044, Val Acc: 0.5636 🔥 Epoch 3/100: 100%|███████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:03<00:00, 1.16s/it, loss=0.1661] ✅ Epoch 3: Train Loss: 1.0237, Train Acc: 0.5610, Val Loss: 0.8874, Val Acc: 0.6190 🔥 Epoch 4/100: 100%|███████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:39<00:00, 1.02s/it, loss=0.1256] ✅ Epoch 4: Train Loss: 0.9351, Train Acc: 0.5980, Val Loss: 1.1289, Val Acc: 0.5504 🔥 Epoch 5/100: 100%|███████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:44<00:00, 1.03s/it, loss=0.1660] ✅ Epoch 5: Train Loss: 0.8370, Train Acc: 0.6476, Val Loss: 0.9077, Val Acc: 0.6202 🔥 Epoch 6/100: 100%|███████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:40<00:00, 1.02s/it, loss=0.1944] ✅ Epoch 6: Train Loss: 0.7990, Train Acc: 0.6752, Val Loss: 0.6418, Val Acc: 0.7408 🔥 Epoch 7/100: 100%|███████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:41<00:00, 1.03s/it, loss=0.1929] ✅ Epoch 7: Train Loss: 0.6462, Train Acc: 0.7322, Val Loss: 0.6793, Val Acc: 0.7062 🔥 Epoch 8/100: 100%|███████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:40<00:00, 1.02s/it, loss=0.1600] ✅ Epoch 8: Train Loss: 0.6140, Train Acc: 0.7552, Val Loss: 0.5645, Val Acc: 0.7736 🔥 Epoch 9/100: 100%|███████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:39<00:00, 1.02s/it, loss=0.2188] ✅ Epoch 9: Train Loss: 0.5724, Train Acc: 0.7682, Val Loss: 0.5241, Val Acc: 0.7870 🔥 Epoch 10/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:41<00:00, 1.03s/it, loss=0.3834] ✅ Epoch 10: Train Loss: 0.5419, Train Acc: 0.7854, Val Loss: 0.5490, Val Acc: 0.7744 🔥 Epoch 11/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:42<00:00, 1.03s/it, loss=0.0375] ✅ Epoch 11: Train Loss: 0.5279, Train Acc: 0.7854, Val Loss: 0.4662, Val Acc: 0.8152 🔥 Epoch 12/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:41<00:00, 1.03s/it, loss=0.2025] ✅ Epoch 12: Train Loss: 0.5334, Train Acc: 0.7884, Val Loss: 0.5014, Val Acc: 0.7910 🔥 Epoch 13/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:45<00:00, 1.03s/it, loss=0.0146] ✅ Epoch 13: Train Loss: 0.4897, Train Acc: 0.8062, Val Loss: 0.3995, Val Acc: 0.8414 🔥 Epoch 14/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:46<00:00, 1.03s/it, loss=0.2553] ✅ Epoch 14: Train Loss: 0.4322, Train Acc: 0.8316, Val Loss: 0.4710, Val Acc: 0.8110 🔥 Epoch 15/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:44<00:00, 1.03s/it, loss=0.1973] ✅ Epoch 15: Train Loss: 0.4707, Train Acc: 0.8246, Val Loss: 0.4016, Val Acc: 0.8476 🔥 Epoch 16/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:40<00:00, 1.02s/it, loss=0.1255] ✅ Epoch 16: Train Loss: 0.4187, Train Acc: 0.8424, Val Loss: 0.3714, Val Acc: 0.8562 🔥 Epoch 17/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:43<00:00, 1.03s/it, loss=0.2544] ✅ Epoch 17: Train Loss: 0.4579, Train Acc: 0.8206, Val Loss: 0.5628, Val Acc: 0.7774 🔥 Epoch 18/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:41<00:00, 1.03s/it, loss=0.0312] ✅ Epoch 18: Train Loss: 0.4058, Train Acc: 0.8478, Val Loss: 0.3115, Val Acc: 0.8774 🔥 Epoch 19/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:42<00:00, 1.03s/it, loss=0.0012] ✅ Epoch 19: Train Loss: 0.3954, Train Acc: 0.8548, Val Loss: 0.3736, Val Acc: 0.8620 🔥 Epoch 20/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:44<00:00, 1.03s/it, loss=0.2076] ✅ Epoch 20: Train Loss: 0.3785, Train Acc: 0.8640, Val Loss: 0.3503, Val Acc: 0.8702 🔥 Epoch 21/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:42<00:00, 1.03s/it, loss=0.0312] ✅ Epoch 21: Train Loss: 0.3926, Train Acc: 0.8528, Val Loss: 0.4074, Val Acc: 0.8366 🔥 Epoch 22/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:43<00:00, 1.03s/it, loss=0.1070] ✅ Epoch 22: Train Loss: 0.3670, Train Acc: 0.8686, Val Loss: 0.2960, Val Acc: 0.8836 🔥 Epoch 23/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:43<00:00, 1.03s/it, loss=0.0025] ✅ Epoch 23: Train Loss: 0.3380, Train Acc: 0.8768, Val Loss: 0.2291, Val Acc: 0.9132 🔥 Epoch 24/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:40<00:00, 1.02s/it, loss=0.0084] ✅ Epoch 24: Train Loss: 0.3293, Train Acc: 0.8814, Val Loss: 0.4529, Val Acc: 0.8324 🔥 Epoch 25/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:37<00:00, 1.02s/it, loss=0.0019] ✅ Epoch 25: Train Loss: 0.3505, Train Acc: 0.8744, Val Loss: 0.4070, Val Acc: 0.8494 🔥 Epoch 26/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:43<00:00, 1.03s/it, loss=0.1239] ✅ Epoch 26: Train Loss: 0.3403, Train Acc: 0.8730, Val Loss: 0.3608, Val Acc: 0.8728 🔥 Epoch 27/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:43<00:00, 1.03s/it, loss=0.0945] ✅ Epoch 27: Train Loss: 0.3281, Train Acc: 0.8844, Val Loss: 0.3272, Val Acc: 0.8802 🔥 Epoch 28/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:44<00:00, 1.03s/it, loss=0.0029] ✅ Epoch 28: Train Loss: 0.3064, Train Acc: 0.8972, Val Loss: 0.4279, Val Acc: 0.8588 🔥 Epoch 29/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:46<00:00, 1.03s/it, loss=0.1575] ✅ Epoch 29: Train Loss: 0.3482, Train Acc: 0.8822, Val Loss: 0.4449, Val Acc: 0.8622 🔥 Epoch 30/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:41<00:00, 1.03s/it, loss=0.0715] ✅ Epoch 30: Train Loss: 0.4075, Train Acc: 0.8610, Val Loss: 0.6693, Val Acc: 0.7746 🔥 Epoch 31/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:41<00:00, 1.03s/it, loss=0.0207] ✅ Epoch 31: Train Loss: 0.4249, Train Acc: 0.8520, Val Loss: 0.3603, Val Acc: 0.8572 🔥 Epoch 32/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:46<00:00, 1.03s/it, loss=0.1917] ✅ Epoch 32: Train Loss: 0.3979, Train Acc: 0.8588, Val Loss: 0.2390, Val Acc: 0.9118 🔥 Epoch 33/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [10:41<00:00, 1.03s/it, loss=0.0055] ✅ Epoch 33: Train Loss: 0.3216, Train Acc: 0.8862, Val Loss: 0.2428, Val Acc: 0.9122 🔥 Epoch 34/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:17<00:00, 1.18s/it, loss=0.0313] ✅ Epoch 34: Train Loss: 0.2917, Train Acc: 0.8992, Val Loss: 0.2512, Val Acc: 0.9078 🔥 Epoch 35/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:44<00:00, 1.22s/it, loss=0.2718] ✅ Epoch 35: Train Loss: 0.2808, Train Acc: 0.9078, Val Loss: 0.2184, Val Acc: 0.9314 🔥 Epoch 36/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:35<00:00, 1.21s/it, loss=0.0004] ✅ Epoch 36: Train Loss: 0.3048, Train Acc: 0.9010, Val Loss: 0.2386, Val Acc: 0.9248 🔥 Epoch 37/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:53<00:00, 1.33s/it, loss=0.0143] ✅ Epoch 37: Train Loss: 0.3037, Train Acc: 0.9180, Val Loss: 0.1840, Val Acc: 0.9428 🔥 Epoch 38/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:06<00:00, 1.26s/it, loss=0.5923] ✅ Epoch 38: Train Loss: 0.3070, Train Acc: 0.9182, Val Loss: 0.4731, Val Acc: 0.8964 🔥 Epoch 39/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:46<00:00, 1.23s/it, loss=0.0810] ✅ Epoch 39: Train Loss: 0.3642, Train Acc: 0.9094, Val Loss: 0.3422, Val Acc: 0.8938 🔥 Epoch 40/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:42<00:00, 1.22s/it, loss=0.1922] ✅ Epoch 40: Train Loss: 0.2750, Train Acc: 0.9280, Val Loss: 0.2964, Val Acc: 0.9244 🔥 Epoch 41/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:42<00:00, 1.22s/it, loss=0.0253] ✅ Epoch 41: Train Loss: 0.3167, Train Acc: 0.9228, Val Loss: 0.2126, Val Acc: 0.9464 🔥 Epoch 42/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:42<00:00, 1.22s/it, loss=0.2743] ✅ Epoch 42: Train Loss: 0.2623, Train Acc: 0.9394, Val Loss: 0.1490, Val Acc: 0.9572 🔥 Epoch 43/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:43<00:00, 1.22s/it, loss=0.0024] ✅ Epoch 43: Train Loss: 0.2974, Train Acc: 0.9314, Val Loss: 0.2396, Val Acc: 0.9392 🔥 Epoch 44/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:12<00:00, 1.27s/it, loss=0.0095] ✅ Epoch 44: Train Loss: 0.2771, Train Acc: 0.9378, Val Loss: 0.2106, Val Acc: 0.9532 🔥 Epoch 45/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:43<00:00, 1.22s/it, loss=0.0025] ✅ Epoch 45: Train Loss: 0.3540, Train Acc: 0.9202, Val Loss: 0.5015, Val Acc: 0.8516 🔥 Epoch 46/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:04<00:00, 1.26s/it, loss=0.0947] ✅ Epoch 46: Train Loss: 0.3481, Train Acc: 0.9110, Val Loss: 0.2060, Val Acc: 0.9436 🔥 Epoch 47/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:41<00:00, 1.31s/it, loss=0.0228] ✅ Epoch 47: Train Loss: 0.3702, Train Acc: 0.9134, Val Loss: 0.4645, Val Acc: 0.8868 🔥 Epoch 48/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:13<00:00, 1.27s/it, loss=0.0038] ✅ Epoch 48: Train Loss: 0.3444, Train Acc: 0.9280, Val Loss: 0.2969, Val Acc: 0.9270 🔥 Epoch 49/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:54<00:00, 1.24s/it, loss=0.9902] ✅ Epoch 49: Train Loss: 0.3059, Train Acc: 0.9386, Val Loss: 0.3237, Val Acc: 0.9408 🔥 Epoch 50/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:40<00:00, 1.22s/it, loss=0.0888] ████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:18<00:00, 1.18s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 54: Train Loss: 0.3275, Train Acc: 0.9524, Val Loss: 0.3611, Val Acc: 0.9374 🔥 Epoch 55/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:43<00:00, 1.22s/it, loss=0.0019] ✅ Epoch 55: Train Loss: 0.2829, Train Acc: 0.9596, Val Loss: 0.2111, Val Acc: 0.9744 🔥 Epoch 56/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:03<00:00, 1.25s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 56: Train Loss: 0.4591, Train Acc: 0.9410, Val Loss: 0.2341, Val Acc: 0.9642 🔥 Epoch 57/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:47<00:00, 1.23s/it, loss=0.1739] ✅ Epoch 57: Train Loss: 0.5899, Train Acc: 0.9220, Val Loss: 0.5671, Val Acc: 0.9088 🔥 Epoch 58/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:31<00:00, 1.20s/it, loss=0.6086] ✅ Epoch 58: Train Loss: 0.3227, Train Acc: 0.9528, Val Loss: 0.3840, Val Acc: 0.9486 🔥 Epoch 59/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:52<00:00, 1.24s/it, loss=0.0541] ✅ Epoch 59: Train Loss: 0.3379, Train Acc: 0.9538, Val Loss: 0.2715, Val Acc: 0.9584 🔥 Epoch 60/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:23<00:00, 1.19s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 60: Train Loss: 0.2532, Train Acc: 0.9654, Val Loss: 0.2127, Val Acc: 0.9682 🔥 Epoch 61/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:33<00:00, 1.21s/it, loss=0.5709] ✅ Epoch 61: Train Loss: 0.2678, Train Acc: 0.9680, Val Loss: 0.1668, Val Acc: 0.9784 🔥 Epoch 62/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:33<00:00, 1.21s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 62: Train Loss: 0.2121, Train Acc: 0.9734, Val Loss: 0.1535, Val Acc: 0.9796 🔥 Epoch 63/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:10<00:00, 1.27s/it, loss=0.0178] ✅ Epoch 63: Train Loss: 0.2142, Train Acc: 0.9754, Val Loss: 0.0896, Val Acc: 0.9888 🔥 Epoch 64/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:21<00:00, 1.28s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 64: Train Loss: 0.1499, Train Acc: 0.9814, Val Loss: 0.0813, Val Acc: 0.9890 🔥 Epoch 65/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:22<00:00, 1.19s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 65: Train Loss: 0.1269, Train Acc: 0.9852, Val Loss: 0.0610, Val Acc: 0.9930 🔥 Epoch 66/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:43<00:00, 1.22s/it, loss=0.6514] ✅ Epoch 66: Train Loss: 0.1330, Train Acc: 0.9844, Val Loss: 0.0569, Val Acc: 0.9936 🔥 Epoch 67/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:38<00:00, 1.21s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 67: Train Loss: 0.0973, Train Acc: 0.9878, Val Loss: 0.0655, Val Acc: 0.9924 🔥 Epoch 68/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:25<00:00, 1.19s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 68: Train Loss: 0.0877, Train Acc: 0.9884, Val Loss: 0.0658, Val Acc: 0.9902 🔥 Epoch 69/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:16<00:00, 1.18s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 69: Train Loss: 0.0847, Train Acc: 0.9898, Val Loss: 0.0523, Val Acc: 0.9940 🔥 Epoch 70/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:19<00:00, 1.18s/it, loss=0.0001] ✅ Epoch 70: Train Loss: 0.0748, Train Acc: 0.9898, Val Loss: 0.0272, Val Acc: 0.9970 🔥 Epoch 71/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:20<00:00, 1.18s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 71: Train Loss: 0.0578, Train Acc: 0.9930, Val Loss: 0.0397, Val Acc: 0.9960 🔥 Epoch 72/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:20<00:00, 1.18s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 72: Train Loss: 0.0454, Train Acc: 0.9948, Val Loss: 0.0356, Val Acc: 0.9960 🔥 Epoch 73/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:20<00:00, 1.18s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 73: Train Loss: 0.0698, Train Acc: 0.9932, Val Loss: 0.0177, Val Acc: 0.9978 🔥 Epoch 74/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:52<00:00, 1.24s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 74: Train Loss: 0.0401, Train Acc: 0.9954, Val Loss: 0.0386, Val Acc: 0.9952 🔥 Epoch 75/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:24<00:00, 1.29s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 75: Train Loss: 0.0431, Train Acc: 0.9956, Val Loss: 0.0258, Val Acc: 0.9964 🔥 Epoch 76/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:16<00:00, 1.27s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 76: Train Loss: 0.0484, Train Acc: 0.9938, Val Loss: 0.0167, Val Acc: 0.9978 🔥 Epoch 77/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:44<00:00, 1.32s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 77: Train Loss: 0.0320, Train Acc: 0.9964, Val Loss: 0.0081, Val Acc: 0.9994 🔥 Epoch 78/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:12<00:00, 1.27s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 78: Train Loss: 0.0217, Train Acc: 0.9970, Val Loss: 0.0066, Val Acc: 0.9994 🔥 Epoch 79/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:39<00:00, 1.31s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 79: Train Loss: 0.0237, Train Acc: 0.9970, Val Loss: 0.0065, Val Acc: 0.9992 🔥 Epoch 80/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [14:59<00:00, 1.44s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 80: Train Loss: 0.0203, Train Acc: 0.9964, Val Loss: 0.0070, Val Acc: 0.9992 🔥 Epoch 81/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [14:56<00:00, 1.43s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 81: Train Loss: 0.0130, Train Acc: 0.9980, Val Loss: 0.0071, Val Acc: 0.9992 🔥 Epoch 82/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [14:34<00:00, 1.40s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 82: Train Loss: 0.0182, Train Acc: 0.9986, Val Loss: 0.0034, Val Acc: 0.9994 🔥 Epoch 83/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:56<00:00, 1.34s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 83: Train Loss: 0.0081, Train Acc: 0.9982, Val Loss: 0.0046, Val Acc: 0.9994 🔥 Epoch 84/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:33<00:00, 1.30s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 84: Train Loss: 0.0071, Train Acc: 0.9990, Val Loss: 0.0053, Val Acc: 0.9992 🔥 Epoch 85/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [14:07<00:00, 1.36s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 85: Train Loss: 0.0102, Train Acc: 0.9986, Val Loss: 0.0038, Val Acc: 0.9994 🔥 Epoch 86/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:29<00:00, 1.20s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 86: Train Loss: 0.0126, Train Acc: 0.9984, Val Loss: 0.0039, Val Acc: 0.9996 🔥 Epoch 87/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:46<00:00, 1.23s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 87: Train Loss: 0.0044, Train Acc: 0.9996, Val Loss: 0.0041, Val Acc: 0.9996 🔥 Epoch 88/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [15:11<00:00, 1.46s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 88: Train Loss: 0.0052, Train Acc: 0.9994, Val Loss: 0.0044, Val Acc: 0.9996 🔥 Epoch 89/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:46<00:00, 1.23s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 89: Train Loss: 0.0128, Train Acc: 0.9988, Val Loss: 0.0031, Val Acc: 0.9996 🔥 Epoch 90/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:48<00:00, 1.23s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 90: Train Loss: 0.0028, Train Acc: 0.9996, Val Loss: 0.0018, Val Acc: 0.9996 🔥 Epoch 91/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [13:17<00:00, 1.28s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 91: Train Loss: 0.0034, Train Acc: 0.9994, Val Loss: 0.0013, Val Acc: 0.9996 🔥 Epoch 92/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:21<00:00, 1.19s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 92: Train Loss: 0.0059, Train Acc: 0.9990, Val Loss: 0.0014, Val Acc: 0.9996 🔥 Epoch 93/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:35<00:00, 1.21s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 93: Train Loss: 0.0009, Train Acc: 0.9996, Val Loss: 0.0012, Val Acc: 0.9996 🔥 Epoch 94/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:29<00:00, 1.20s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 94: Train Loss: 0.0017, Train Acc: 0.9996, Val Loss: 0.0012, Val Acc: 0.9996 🔥 Epoch 95/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:16<00:00, 1.18s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 95: Train Loss: 0.0019, Train Acc: 0.9998, Val Loss: 0.0015, Val Acc: 0.9996 🔥 Epoch 96/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:18<00:00, 1.18s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 96: Train Loss: 0.0053, Train Acc: 0.9990, Val Loss: 0.0015, Val Acc: 0.9996 🔥 Epoch 97/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:17<00:00, 1.18s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 97: Train Loss: 0.0016, Train Acc: 0.9996, Val Loss: 0.0013, Val Acc: 0.9996 🔥 Epoch 98/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:18<00:00, 1.18s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 98: Train Loss: 0.0067, Train Acc: 0.9994, Val Loss: 0.0011, Val Acc: 0.9996 🔥 Epoch 99/100: 100%|██████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:24<00:00, 1.19s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 99: Train Loss: 0.0026, Train Acc: 0.9994, Val Loss: 0.0010, Val Acc: 0.9996 🔥 Epoch 100/100: 100%|█████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████| 625/625 [12:26<00:00, 1.19s/it, loss=0.0000] ✅ Epoch 100: Train Loss: 0.0064, Train Acc: 0.9992, Val Loss: 0.0010, Val Acc: 0.9996 ✅ Training complete. Best Validation Accuracy: 0.9996 (venv) PS

**🚀 Training Summary & Analysis**

**Key Results**

1. **Epochs Completed**: 100/100
2. **Train Accuracy**: 99.92%
3. **Validation Accuracy**: 99.96%
4. **Train Loss**: 0.0064 (very low)
5. **Validation Loss**: 0.0010 (very low)

**Observations**

1. **High Accuracy**: Both train and validation accuracy have reached near-perfect values (~99.96%). This indicates that the model is learning well and generalizing effectively across the validation set.
2. **Low Loss**: Both train and validation losses are extremely low, confirming the model's strong ability to minimize classification errors.
3. **Balanced Classes**: Training on 1000 images per class (5 classes) worked effectively for this Vision Transformer (ViT) model.
4. **No Overfitting**: The validation accuracy remains consistent and close to the training accuracy, which suggests that overfitting is not an issue.

A screenshot of a graph

Description automatically generated

The confusion matrix you provided indicates that your model is performing exceptionally well. Here's an analysis of the results:

**Confusion Matrix Analysis**

* **Diagonal dominance:**
  + The diagonal values represent correct predictions. All the diagonal values are close to or exactly 1000, indicating almost perfect classification for each class.
* **Misclassifications:**
  + **Overripe:** One image was misclassified as another class.
  + **Underripe:** One image was misclassified.
  + The remaining classes have perfect accuracy (no errors).

**Recommendations**

Since the model is already highly accurate, further improvements may yield diminishing returns. However, if you want to enhance generalization and ensure robustness, you can:

1. **Test on More Diverse Data:**
   * Use images from different lighting conditions, angles, or variations in image quality.
2. **Data Augmentation:**
   * Apply random rotations, flips, or brightness adjustments during training to improve model robustness.
3. **Precision & Recall Evaluation:**
   * Run a script to calculate precision, recall, and F1-score for each class to get a deeper insight into how well the model handles false positives and false negatives.

A screenshot of a computer program

Description automatically generated

**Step 2: Transfer Your Project to the Raspberry Pi**

1. Copy your project directory (AI\_Model\_Palm\_Oil\_Fruit) from your PC to the Raspberry Pi.
   * Use scp, USB drive, or file-sharing tools like **Samba** or **WinSCP**.

**Step 3: Install Python Dependencies**

Run the following commands to install the required libraries on the Raspberry Pi:

1. **PyTorch for ARM64 (Raspberry Pi):**  
   Since PyTorch is not available via pip for ARM devices, install it manually:

pip3 install torch torchvision torchaudio --index-url <https://download.pytorch.org/whl/cpu>

pip3 install numpy pillow matplotlib opencv-python opencv-python-headless

A screenshot of a computer program

Description automatically generated

A screenshot of a computer program

Description automatically generated

A screenshot of a computer

Description automatically generated

A screenshot of a computer program

Description automatically generated

**Step 8: Test Everything**

Ensure that your model can perform real-time classification using the connected camera, and troubleshoot any performance bottlenecks or errors.

**Summary of Libraries to Install**

pip3 install torch torchvision numpy pillow matplotlib opencv-python opencv-python-headless onnxruntime

Tools and Drivers

sudo apt install v4l-utils python3-pyopencl

Commands:  
A screenshot of a computer program

Description automatically generated

# Navigate to your project directory cd C:\Users\owono\Pictures\AI\_Model\_Palm\_Oil\_Fruit # Activate the virtual environment .\venv\Scripts\activate

A screenshot of a computer

Description automatically generated

# Ensure necessary libraries are installed

pip install -r requirements.txt

pip install torch torchvision numpy pillow matplotlib opencv-python

A screenshot of a computer program

Description automatically generated

python Training/Train\_RGB.py

python Training/Train\_NIR.py

python Training/Fusion\_Train.py

A screenshot of a computer

Description automatically generated

python Save\_Models/scripts/save\_model.py

A screen shot of a computer

Description automatically generated

python Save\_Models/scripts/convert\_onnx.py

A screenshot of a program

Description automatically generated

python Save\_Models/scripts/test\_model.py

python Save\_Models/scripts/evaluate\_model.py

A screenshot of a computer

Description automatically generated

python Inference/DoClassify\_RGB.py

python Inference/DoClassify\_NIR.py

python Inference/Fusion.py

A screenshot of a computer program

Description automatically generated

python Resize/resize\_image.py

python utils.py

A screenshot of a computer

Description automatically generated

python DataLoader/RGBLoader.py

A black and white screen with white text

Description automatically generated

Deactivate

* **Purpose:** Contains image data used for training, testing, and inference.
* **Subfolders:**
  + RGB: Organized by categories such as empty\_bunch, overripe, ripe, etc.
  + NIR: Same categories as RGB for Near-Infrared images.

**2. DataLoader**

* **Purpose:** Manages loading and preprocessing of image data.
* **Files:**
  + RGBLoader.py: Loads RGB images and applies transformations.
  + NIRLoader.py: Loads NIR images with similar functionality.
  + utils.py: Utility functions to support data loading tasks.
  + \_\_init\_\_.py: Makes the directory a package.

**3. Inference**

* **Purpose:** Scripts for real-time classification and inference.
* **Files:**
  + DoClassify\_RGB.py: Runs classification using RGB images, connecting to the camera for real-time input.
  + DoClassify\_NIR.py: Like DoClassify\_RGB.py but for NIR-based classification.
  + Fusion.py: Likely combines RGB and NIR predictions for better accuracy.

**4. Models**

* **Purpose:** Defines machine learning models.
* **Files:**
  + RGBModel.py: Defines the model architecture for RGB data.
  + NIRModel.py: Defines the model architecture for NIR data.
  + FusionModel.py: Combines RGB and NIR models for joint predictions.
  + VisionTransformer.py: Implements a transformer-based model architecture.
  + \_\_init\_\_.py: Makes the directory a package.

**Resize**

* **Purpose:** Handles image resizing.
* **Files:**
  + resize\_image.py: Script to resize images to a consistent format for training or testing.

**6. Save\_Models**

* **Purpose:** Manages model saving and conversion.
* **Subfolder:**
  + Scripts: Contains scripts for saving, evaluating, testing, and converting models.
  + best\_rgb\_model.pth: The trained model weights for RGB.

**7. Summary**

* **Purpose:** Stores training logs, weights, and TensorBoard summaries.
* **Subfolders:** Organized by model type (e.g., FusionModel, RGBModel, NIRModel).

**8. Training**

* **Purpose:** Scripts to train models on data.
* **Files:**
  + Train\_RGB.py: Trains the model on RGB images.
  + Train\_NIR.py: Trains the model on NIR images.

**9. venv**

* **Purpose:** Virtual environment directory containing installed dependencies for the project.

**10. config.py**

* **Purpose:** Stores project configuration settings such as paths, model parameters, and class labels.

**11. requirements.txt**

* **Purpose:** Lists all Python dependencies needed to run the project. Used for easy installation via pip.

**12. utils.py**

* **Purpose:** Contains utility functions that might be reused across different parts of the project.